

RICHARD RHODES

TÁC GIẢ CUỐN *LỊCH SỬ BOM NGUYÊN TỬ* ĐƯỢC TRAO GIẢI PULITZER

NĂNG LƯỢNG

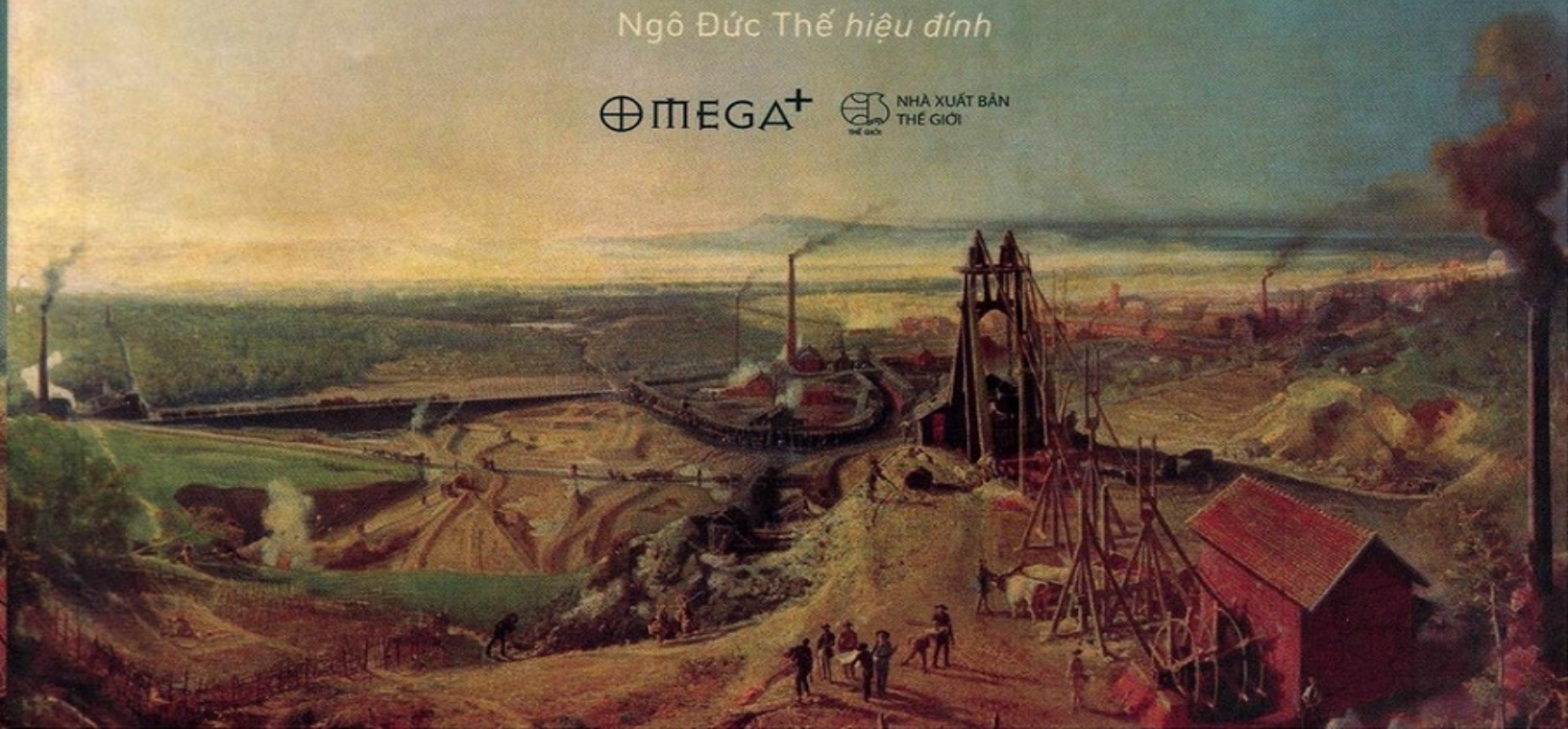
LỊCH SỬ NHÂN LOẠI TỪ THAN CỎI TỚI HẠT NHÂN

Nguyễn Mạnh Cường dịch
Ngô Đức Thế hiệu đính

⊕ MEGA⁺



NHÀ XUẤT BẢN
THẾ GIỚI



Năng Lượng - Lịch Sử Nhân Loại Từ Than Củi Tới Hạt Nhân



Tác giả: Richard Rhodes
Người dịch: Nguyễn Mạnh Cường
Hiệu đính: Ngô Đức Thế
Phát hành: Alpha Books
Nhà xuất bản Thế Giới 2020

ebook©vctvegroup

Dành tặng Isaac Rhodes

Một khoản tài trợ từ Quỹ Alfred P. Sloan đã hỗ trợ tôi nghiên cứu và viết cuốn sách này.

LỜI TỰA

Bạn sắp sửa bắt đầu cuộc hành trình kéo dài 400 năm với một loạt những con người thú vị và sáng tạo nhất trong lịch sử nhân loại. Là những nhà khoa học, nhà phát minh và kỹ sư, tên tuổi của họ không phải lúc nào cũng gắn liền với công việc của mình. Thế nhưng, họ đã định hình thế giới chúng ta đang sống, khiến nó vừa tốt đẹp hơn vừa tiện lợi hơn. Chủ yếu là tốt đẹp hơn, tôi tin thế. Sau khi đồng hành với họ trong cuốn sách này, tôi tin bạn cũng sẽ nghĩ vậy. Chỉ ít thì bạn cũng sẽ biết nhiều hơn về những gì họ đã làm, tại sao và làm thế nào họ làm được điều đó. Tôi ngạc nhiên và đôi khi sửng sốt khi thấy bao nhiêu câu chuyện của những con người này đã bị lãng quên. Một số tài liệu tham khảo tôi sử dụng để thuật lại đã đi vào lịch sử và tài liệu tiêu sử đã từ 200 năm tuổi trở lên. Sách vở và tài liệu đã cũ, nhưng những câu chuyện vẫn mới mẻ.

Những cá nhân kiệt xuất này là ai? Chỉ ít cũng có một tác gia: William Shakespeare, song không phải với tư cách là nhà soạn kịch mà là người đồng sở hữu nhà hát đầu tiên ở London. Ông và các chủ sở hữu khác đã tháo dỡ nó (chủ đất thì cáo buộc họ đánh cắp nó) để lấy gỗ trong lúc gỗ trở nên khan hiếm quanh khu vực London. Họ vận chuyển nó qua sông Thames để xây dựng nhà hát Quả cầu với quy mô lớn hơn ở khu Southwark náo nhiệt, bên cạnh một rạp xiếc gấu.

Một người Pháp tên Denis Papin quan tâm đến việc ăn uống của người nghèo đã phát minh ra nồi áp suất, từ đó làm tiền đề cho động cơ hơi nước.

Đương nhiên phải nhắc đến James Watt, người Scotland đã đem đến cho nhân loại động cơ hơi nước, cũng như người đi trước là Thomas Newcomen, người đã sáng chế ra cỗ máy hơi nước áp suất khí quyển công kênh, xuất hiện trước thiết kế gọn nhẹ của Watt.

Tôi đã có dịp ngắm nhìn bản sao của động cơ Newcomen ở Anh vào một trong vài ngày hiếm hoi mỗi năm khi nó được vận hành. Động cơ này

to bằng cả ngôi nhà và ngọn than vô độ. (Than không còn rẻ nữa nên người ta hiếm khi cho nó chạy.) Tôi đã xúc than vào lò đốt và nói chuyện với vị kỹ sư nghỉ hưu vận hành nó. Tôi hỏi ông cần thiết bị gì để cho nó hoạt động, và với nụ cười khoái trá, ông giơ cao một cây búa lớn. Động cơ Newcomen cấu thành từ toàn đường ống và tay quay, lại thường bị hóc, nên ông ấy phải dùng búa gõ.

Các động cơ Newcomen được đặt tại cửa hầm mỏ và bơm nước ra. Chúng quá thiếu công năng nên không thể dễ dàng di chuyển. Động cơ của Watt có công năng cao hơn và nhỏ gọn hơn, có thể gắn thêm bánh xe và đường ray nhằm tải than từ cửa hầm ra sông rồi chuyển tiếp đến London bằng thuyền. Sau đó, người ta nhận ra có thể chở người như chở than vậy, từ đó đường sắt chở khách ra đời và nhanh chóng vươn khắp nước Anh. Tại Mỹ cũng vậy, tuy động cơ của người Mỹ chạy bằng than củi suốt gần hết thế kỷ 19, nhưng nó đã thâm nhập những vùng đất hoang vu xa xôi cách trở hơn bất kỳ mỏ than nào và kết nối cả lục địa.

Trong số những con người lỗi lạc của thế kỷ 20 phải kể đến Arie Haagen-Smit, một chuyên gia gốc Hà Lan giảng dạy tại Học viện Công nghệ California (Caltech) ở Pasadena. Một ngày nọ năm 1948, các quan chức chính phủ liên quan bắt gặp ông chất đầy dứa chín trong một phòng thí nghiệm để ngưng tụ hương thơm nhiệt đới của chúng trong không khí. Họ đã yêu cầu ông làm điếu tương tự với sương khói ghê người ở Los Angeles. Ông lập tức dọn sạch dứa, mở cửa sổ và hút vào hàng trăm mét khối không khí lẫn sương khói. Ông cho không khí đi qua một bộ lọc được làm lạnh bằng nitơ lỏng, và gạn lấy vài giọt nước cặn có mùi khó chịu màu nâu. Sau khi phân tích thành phần hóa học của cặn, Haagen-Smit tuyên bố đó là khí thải ô tô và khí thải của các nhà máy lọc dầu gần đó. Khác với khói độc và sương mù thông thường (khói + sương = “sương khói”) gây hại cho các thành phố hay đốt than, thứ hợp chất mới này hòa vào không khí như một loại khí độc kép. Dưới ánh sáng mặt trời, nó biến không khí thành màu nâu đỏ.

Các công ty dầu khí không muốn biết điếu đó. Các nhà hóa học của họ chế giễu phân tích của Haagen-Smit. Họ tuyên bố với thế giới rằng không tìm thấy phản ứng hóa học nào như vậy. Điếu này càng khiến nhà khoa học Hà Lan cứng đầu nổi cơn lôi đình. Trở lại phòng thí nghiệm, ông đã chứng minh thiết bị đắt tiền của nhóm nhà hóa học công ty dầu khí không thể phát

hiện quá trình hình thành sương khói. Về phần mình, Haagen-Smit sử dụng các mảnh sấm xe cũ để đo lường mức độ không khí lẫn sương khói làm cho cao su trở nên giòn mủn và dùng bộ thiết bị phân tích dựa để tìm ra các thành phần hóa học mà khi kết hợp lại, chúng hóa độc không khí. Sau đó, chính phủ phải can thiệp và khởi động quá trình làm sạch Los Angeles.

Cuốn sách này chứa đầy những câu chuyện như vậy, nhưng không chỉ đơn thuần là những câu chuyện kể. Mục đích quan trọng của cuốn sách là khám phá lịch sử năng lượng; làm sáng tỏ thêm những lựa chọn mà chúng ta đang phải đối mặt trước thách thức của biến đổi khí hậu toàn cầu. Những người trong ngành năng lượng nghĩ rằng chúng ta coi năng lượng là điều hiển nhiên. Họ nói rằng chúng ta chỉ quan tâm đến nó khi đến cây xăng hoặc khi tìm ổ cắm trên tường. Có thể đó từng là sự thật, nhưng bây giờ thì khác. Biến đổi khí hậu nay là một vấn đề chính trị lớn. Hầu hết chúng ta đều biết đến nó và ngày càng quan tâm, lo lắng về nó. Các ngành nghề bị nó thách thức. Năng lượng phủ bóng lên nền văn minh nhân loại với sự u ám của mối đe dọa về ngày tận thế như nỗi lo sợ hủy diệt hạt nhân trong những năm dài Chiến tranh Lạnh.

Song, nhiều người cảm thấy bị ra rìa trong cuộc thảo luận này. Các tài liệu về biến đổi khí hậu chủ yếu có tính kỹ thuật nhưng các cuộc tranh luận thì bị giữ bí mật. Nó tập trung vào tình hình hiện tại mà rất ít tham khảo quá khứ nhân loại - hàng thế kỷ bài học xương máu. Vậy nhưng, những thách thức của ngày hôm nay lại chính là di sản của những quá trình chuyển đổi lịch sử của ngày hôm qua. Gỗ nhường chỗ cho than, và than nhường chỗ cho dầu, than và dầu hiện đang nhường chỗ cho khí đốt tự nhiên, điện hạt nhân và năng lượng tái tạo. Động cơ chính (hệ thống chuyển đổi năng lượng thành cơ năng) đã chuyển từ sức động vật và sức nước sang động cơ hơi nước, động cơ đốt trong, máy phát điện và động cơ điện. Chúng ta đã học hỏi từ những thách thức như vậy, làm chủ quá trình chuyển đổi và tận dụng các tiềm năng của chúng.

Cuộc tranh luận hiện tại hầu như không khám phá ra lịch sử phong phú của *nhân loại* đằng sau những thách thức về năng lượng ngày nay. Tôi viết cuốn *Năng lượng: Lịch sử nhân loại từ than củi tới hạt nhân* một phần để lấp đầy khoảng trống đó - với con người, sự kiện, thời gian, địa điểm, cách tiếp cận, ví dụ, trường hợp tương tự, thảm họa và chiến thắng - để làm sinh động cuộc tranh luận và làm rõ các lựa chọn.

Con người sinh ra và chết đi, các doanh nghiệp thịnh vượng rồi suy vong, các quốc gia vươn lên thành cường quốc thế giới hoặc suy tàn, tất cả diễn ra trong sự tranh chấp về những thách thức năng lượng. Cuốn sách này chứa đầy những câu chuyện về con người, một dân nhân vật trải dài bốn thế kỷ, bao gồm các nhân vật lịch sử như Elizabeth I, James I, John Evelyn, Abraham Darby, Benjamin Franklin, Thomas Newcomen, James Watt, George Stephenson, Humphry Davy, Michael Faraday, Herman Melville, Edwin Drake, Ida Tarbell, John D. Rockefeller, Henry Ford, Enrico Fermi, Hyman Rickover, những ông trùm than ở bang Pennsylvania cũ, và những ông trùm dầu mỏ ở California và Arab Saudi - là đại diện cho những người được nhắc đến.

Những đại dương bao la của loài cá voi cũng bước vào câu chuyện. Dầu từ cơ thể chúng thắp sáng thế giới. Dầu mỏ rỉ ra từ giếng, và một giảng viên hóa học Đại học Yale tự hỏi có thể sử dụng nó vào việc gì. Ngựa gây ô nhiễm đô thị với phân chuồng, thách thức sức khỏe cộng đồng ngày càng tăng, và khi ô tô thay thế chúng, nhóm dân làm nghề cung ứng thức ăn cho ngựa vĩnh viễn rơi vào khủng hoảng. Sự phát triển của hàn hồ quang điện đã mở đường cho sự phát triển của hệ thống đường ống dẫn khí đốt tự nhiên. Năng lượng hạt nhân tuyên bố sự có mặt của mình bằng cách thiêu rụi hai thành phố Nhật Bản, một vết nhơ gần như không thể xóa nhòa.

Bản thân sự nóng lên toàn cầu, với bằng chứng được tích lũy dần dần qua một thế kỷ quan sát với nỗi lo ngại ngày càng tăng, gây ra một cuộc đối đầu trên toàn thế giới về ý thức hệ và lợi ích nhóm. Năng lượng gió, năng lượng dồi dào từ ánh sáng mặt trời, nguồn cung cấp than và khí đốt tự nhiên không hề tranh giành vị thế thống trị trong một thế giới hỗn loạn đang tiến tới dân số mười tỉ linh hồn vào năm 2100. Hầu hết trong số họ là cư dân Trung Quốc và Ấn Độ, hai quốc gia đông dân nhất trên thế giới, hiện đang chuyển từ mức vừa đủ sống sang mức thịnh vượng, dẫn tới sự gia tăng tiêu thụ năng lượng tương ứng. Năng lượng thì vẫn còn, nhưng Trái đất có thể hứng chịu rác thải từ việc tiêu thụ nó không?

Bạn sẽ không tìm thấy nhiều giải pháp trong cuốn sách này. Mỗi thế kỷ đều có những thách thức và cơ hội - một số có tính toán, một số ngoài ý muốn - nhưng trong mọi trường hợp thì đều quá phức tạp, quá nhiều ẩn ý

để luận về *mặt đạo đức* một cách đơn giản. Bạn sẽ tìm được ở đây những ví dụ được tôi diễn giải trong khả năng của mình.

Đây là cách con người, hết lần này đến lần khác, đối mặt với vấn đề sâu sắc của nhân loại là làm thế nào để sinh ra sự sống từ nguyên liệu thô của thế giới. Mỗi phát minh, mỗi khám phá, mỗi sự thích nghi đều mang đến những thách thức vĩ đại hơn nữa và thông qua những lần lột xác liên tục như vậy, chúng ta đã đến được hôm nay. Không khí trong lành hơn, thế giới hòa bình hơn, và ngày càng nhiều người trở nên sung túc. Thế nhưng, không khí cũng ấm lên. Chẳng hạn, vào tháng 8 năm 2015, miền bắc Iran có chỉ số nóng bức lên tới 165°F (74°C). Cầu cho tất cả những kiến thức gây tò mò từ lịch sử sẽ giúp chúng ta tìm đường đến ngày mai. Tôi có con và cháu. Tôi hi vọng và tin rằng chúng ta sẽ làm được.

PHẦN MỘT NĂNG LƯỢNG

01

KHÔNG CÓ GỖ, KHÔNG CÓ VUA QUỐC

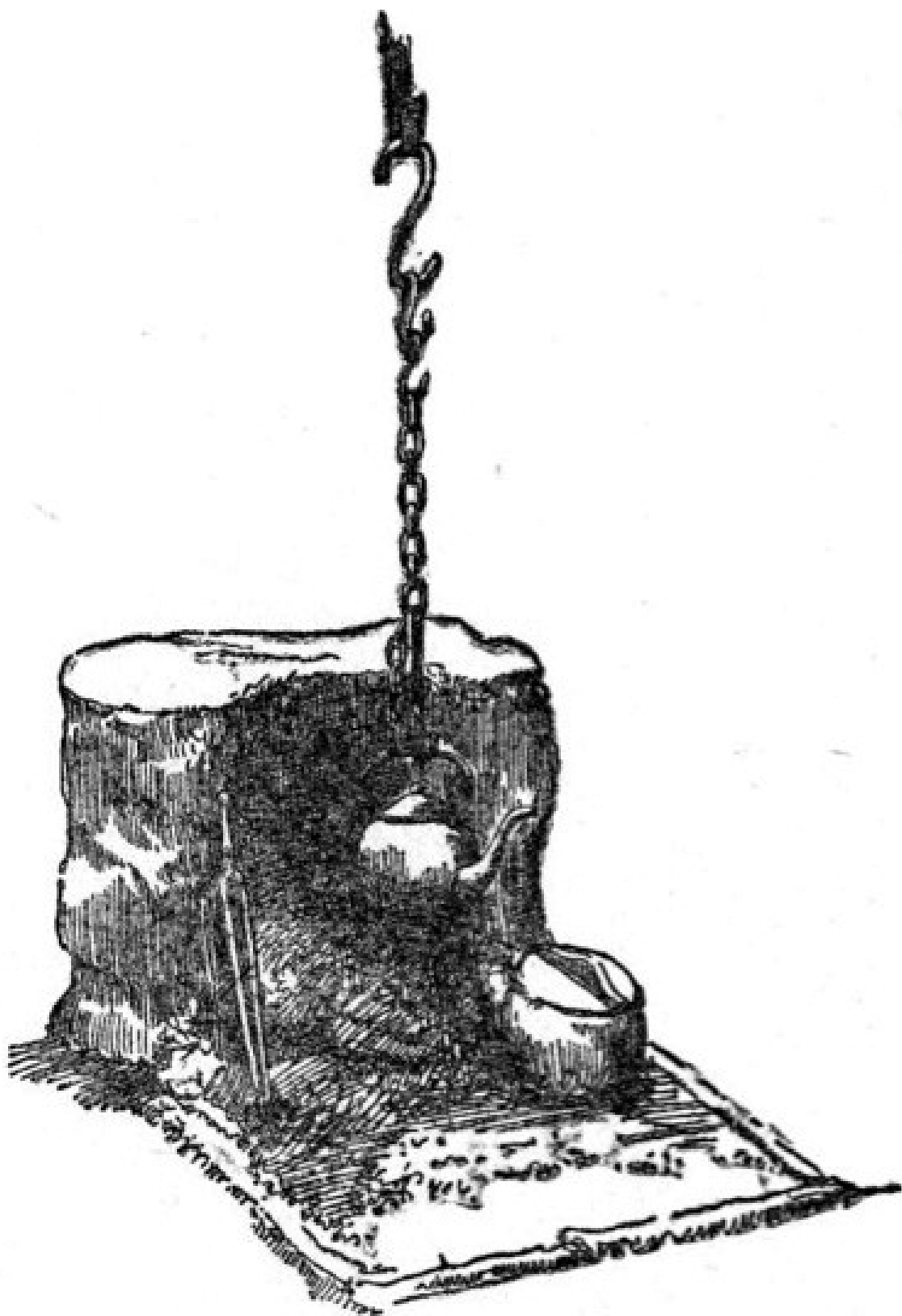
Một ngày lạnh lẽo, buồn thảm và tuyết rơi dày đặc. Thứ Bảy, ngày 28 tháng 12 năm 1598, năm thứ 41 của triều đại Elizabeth Tudor, Nữ vương của nước Anh và Ireland. Ở khu vực ven London, vùng Holywell, các công nhân tập trung tại sân trước Nhà hát cũ, tuyết phủ trắng râu, họ giậm ủng và vỗ tay để giữ ấm. Họ chào nhau với hơi thở ẩm ướt: có việc làm rồi, háo hức kiếm tiền ngay cả trong thời gian nghỉ lễ. Đang khan hiếm gỗ ở London, những khu rừng bao quanh thành phố đã bị chặt hạ hết. Công nhân được thuê để dỡ bỏ Nhà hát, hình thức nhà hát kịch đầu tiên trong lịch sử, và chuyển khung móng còn sót lại được đến nhà kho của bậc thầy nghề mộc Peter Street cạnh sông Thames, ngay sát Bridewell Stairs. Chắc hẳn có ai đó nháy mắt đắc chí, ăn trộm cả một tòa nhà ngay dưới mũi chủ đất đang vắng mặt, dù chủ sở hữu hợp pháp của Nhà hát sẽ mất nhiều năm kiện tụng để phân giải.^[1] Anh em nhà Burbage, đối tác kinh doanh nhà hát của William Shakespeare, tin rằng họ được phép làm điều đó. Họ đã xây nhà hát vào năm 1576. Cứ để chủ đất giữ phần đất của lão. Họ sẽ tháo dỡ nhà hát của họ và dựng lại ở nơi khác.

Giles Allen, người chủ đất, lúc này đang ở căn biệt thự tại vùng quê Essex, sẽ nói với tòa án rằng những người đàn ông có vũ khí đã đe dọa những người hầu mà ông ta cử đến với giấy ủy quyền để ngăn chặn họ. Với tất cả những tiếng la hét nổi ra, chẳng mấy chốc một đám đông đã tụ tập. Anh em nhà Burbage có mặt ngày hôm đó. Cả Shakespeare cũng vậy. Di chuyển nhà hát là việc khẩn cấp để đội kịch của họ có sân khấu biểu diễn. Allen đã đe dọa tự tay kéo đổ nhà hát và tận dụng gỗ để xây nhà tập thể, cách gọi căn hộ thời Shakespeare.

Công nhân của anh em nhà Burbage đã tháo dỡ tòa nhà gỗ và mang bộ khung đi. Hai ngày trước đó, nhà hát đã biểu diễn trước Nữ vương Anh quốc tại Cung điện Whitehall. Họ đã lên kế hoạch biểu diễn tiếp vào đêm giao thừa. Nhà hát được tháo dỡ giữa hai buổi biểu diễn.

Nhà hát được dựng lại vào mùa xuân năm 1599 bên bờ sông Thames ở khu ăn chơi Southwark, mở rộng và đổi tên thành nhà hát Quả cầu hình đa giác 20 mặt cao ba tầng và rộng 30 mét, có vòm mái lá mở ra bầu trời trên một sân rộng. Peter Street có lẽ đã lấy thêm gỗ từ một khu rừng gần Windsor phía tây London cho phần mở rộng, chặt và cắt ngọn, lột vỏ và tạo hình thân gỗ ở ngay đó để tiết kiệm chi phí vận chuyển nguyên cây dọc sông Thames. Một khách du lịch người Thụy Sĩ tên Thomas Platter đã đi xem vở *Julius Caesar* tại nhà hát Quả cầu vào chiều ngày 21 tháng 9 năm 1599, vậy chắc hẳn nó đã đi vào hoạt động từ trước đó. Ông nhận xét rằng vở kịch “được biểu diễn khá bài bản.”^[2]

Nước Anh thời Elizabeth là một đất nước được xây từ gỗ. “Phần tuyệt vời nhất trong kiến trúc của chúng tôi ở các thành phố và thị trấn giàu có ở nước Anh,” nhà quan sát William Harrison thời Elizabeth nhận xét vào năm 1577, “được xây hoàn toàn bằng gỗ.”^[3] Ngay cả các công cụ như cày và cuốc của Anh cũng làm từ gỗ với lưỡi sắt. London là một thành phố gỗ với những ngôi nhà được lợp mái lá và một nửa bằng gỗ, sưởi ấm bằng củi đốt trong các lò sưởi bằng đá gọi là *reredos* đặt giữa các phòng, khói gỗ ngọt ngào bay khắp nhà và xuyên qua các ô cửa sổ.



Lò sưởi reredos, có móc treo ấm nước phía trên

Nhưng gỗ dần trở nên đắt đỏ, giá của nó tăng lên cùng với dân số London và những người tiều phu phải đi ngày một xa để kiếm củi cho thành phố. Quốc hội đã ban hành một biện pháp giới hạn vào năm 1581: một đạo luật cấm sản xuất than củi để nấu chảy sắt trong vòng 22 km quanh London nhằm để dành cây cối gần đó làm chất đốt gia dụng. Tuy vậy, chi phí vận chuyển củi vào thành phố vẫn tăng hơn gấp đôi từ năm 1500 đến năm 1592, tỉ lệ thuận với sự bùng nổ dân số ở London khi dân số tăng gấp bốn lần từ năm 1500 đến năm 1600, từ 50.000 lên 200.000 người.^[4] (Toàn bộ dân số Anh đã tăng trong thế kỷ đó từ 3,25 triệu lên 4,07 triệu người.^[5])

Một số nhà kinh tế ngày nay đặt câu hỏi đi đâu gì sẽ xảy ra nếu nước Anh cạn kiệt gỗ. Anh em nhà Burbage và công ty của họ vận chuyển khung Nhà hát không chỉ để tiết kiệm gỗ mà còn tiết kiệm thời gian và tiền bạc để xây dựng nhà hát Quả cầu mới khang trang hơn cạnh bờ sông. Suy cho cùng thì gỗ là một nguồn tài nguyên tái tạo được. Tuy nhiên, nhiều quan chức, nghị sĩ và nhà quan sát độc lập ở thế kỷ 17 và thế kỷ 18 rất lo sợ về tình trạng thiếu gỗ, đặc biệt là gỗ sồi lớn phù hợp để làm cột buồm.

Tàu chiến thời đó có giá trị đối với an ninh quốc gia cũng như tàu sân bay ngày nay. Trung bình khoảng 2.500 cây sồi lớn được dùng để đóng một con tàu Anh.^[6] Đó là một cỗ máy chiến tranh bằng gỗ tuyệt đẹp, đồ sộ và rắn chắc, rộng 15 mét và dài 60 mét. Hai hàng đại bác gắn trên bệ gỗ có bánh xe nhô ra từ mạn sườn màu vàng. Sàn các tầng được sơn đỏ xỉn để che đi máu đổ trong chiến trận.^[7] Cánh buồm cần không dưới 23 cột buồm, trục buồm, và xà, từ cột buồm chính cao 36 mét, nặng 18 tấn đến trục cột buồm phụ mũi tàu nhẹ hơn dài 6,4 mét.^[8] Người yêu nước coi Hải quân Hoàng gia là “thành lũy gỗ” của Anh, bảo vệ đất nước khỏi quân xâm lược.



Chiến hạm Ark Royal, được đóng cho Sir Walter Raleigh vào năm 1587, trang bị 55 đại bác trên hai tầng. Năm 1588, chiến hạm đã truy đuổi hạm đội Tây Ban Nha ra Biển Bắc.

Hải quân Hoàng gia đã đóng và duy trì khoảng 100 tàu chiến tiêu chuẩn cùng hàng trăm tàu thuyền nhỏ hơn. Chiến tranh và mỗi một sẽ tàn phá chúng; cần thay thế cứ mỗi một hoặc hai thập niên. Thế nhưng những thân cây làm cột buồm lớn phải mất 80 đến 120 năm để phát triển đủ đường kính. Một chủ đất trồng cây sồi thường đặt hi vọng cháu hoặc chắt của mình có thể thu hoạch nó để kiếm lợi nhuận với điều kiện các thế hệ sau có thể chờ đợi lâu đến vậy. Đa phần không thể; số khác thì không làm thế. Bán gỗ là một phương thức dễ dàng để kiếm tiền mặt; từ chủ đất đến nhà vua đều tận dụng cơ hội đó bất cứ khi nào ví của họ trống rỗng. Bá tước Wood II xứ Carnarvon đã nói với một người bạn của nhà viết nhật ký

Samuel Pepys rằng “gỗ là phần lãi trên Trái đất được Chúa ban cho để thanh toán nợ nần.”^[9]

Gỗ uốn hàng rào hay như Hải quân Hoàng gia gọi là “gỗ cong” rất quan trọng đối với việc đóng tàu, cũng quan trọng như các loại gỗ rừng thẳng cần thiết cho cột buồm vậy. Những cây sồi cong tuyệt vời này đã cung cấp những mảnh gỗ cong và phần nhánh cho sống tàu, trụ đuôi tàu và sườn thân tàu. Chúng luôn khan hiếm và đắt giá nhưng với xu hướng quây đất đai ở nước Anh thời Trung cổ - việc tư nhân hóa và hợp nhất các cánh đồng công thành đồng cỏ cho cừu đã mang lại rất nhiều lợi ích cho các ông chủ điền trang - hầu hết các cây cong đều bị đốn hạ. Việc tìm kiếm thân cây phù hợp cho một con tàu có thể mất hàng năm trời.

Hải quân Hoàng gia không phải là tổ chức duy nhất đốn hạ rừng ở nước Anh. Đến thập niên 1630, nước này đã có khoảng 300 cơ sở luyện sắt, đã đốt 300.000 tải gỗ mỗi năm để làm than củi, mỗi tải được tính là một cây lớn.^[10] Việc xây dựng và duy trì số lượng tàu thương mại ngày càng lớn của Anh cần gấp ba lần lượng gỗ sồi cho tàu hải quân.

Gỗ, đặc biệt là gỗ sồi, cần trồng trên đất dành cho ngũ cốc. Những cây lớn cần đất sâu, màu mỡ, nhưng sẽ có ích hơn nếu trồng lương thực ở những chỗ như vậy. Một quan chức của Hạt Suffolk tên là Thomas Preston đã đánh đồng những khu rừng hùng vĩ với điều kiện lạc hậu nguyên thủy, “thuộc về quá khứ” khi vương quốc sở hữu “rất nhiều cây sồi.” Ông cho rằng sự suy giảm của gỗ sồi là thước đo cho sự thịnh vượng của vương quốc, có “giá trị gấp nghìn lần bất kỳ loại gỗ nào trên đời.” Preston hi vọng rừng sẽ tiếp tục biến mất: “Trong khi chúng ta buộc phải cho người dân ăn lúa mì nhập khẩu và cho ngựa ăn yến mạch nhập khẩu thì sao có thể ưu tiên trồng gỗ sồi được?... Không bao giờ phải dè chừng sự khan hiếm gỗ vì nó là bằng chứng rõ ràng cho sự đi lên của quốc gia; và đối với Hải quân Hoàng gia, chỉ các quốc gia man rợ mới là những vườn ươm cây hợp lý.”^[11]

Các quốc gia man rợ đó bao gồm Bắc Mỹ, đặc biệt là vùng New England, nơi những người khai phá mới bắt đầu thu hoạch rừng nguyên sinh. Từ năm 1650 trở đi, Hải quân Hoàng gia săn tìm “thân gỗ đơn” khỏe mạnh cho chiến hạm, dài 36 mét và đường kính khoảng một mét. Tuy nhiên, những người khai phá cũng tranh giành loại gỗ này. Xưởng cưa đầu tiên của Mỹ bắt đầu hoạt động vào năm 1663 trên sông Salmon Falls ở

New Hampshire, rất lâu trước khi người Anh cải tiến từ cửa xả bằng tay đến sử dụng sức nước. Đến năm 1747, đã có 90 xưởng dùng sức nước như vậy dọc theo Salmon Falls và Piscataqua, với 130 cặp bò để kéo gỗ. Với lực lượng đó, họ cắt khoảng 14.000 mét khối gỗ mỗi năm để bán ở Boston, quần đảo Tây Ấn vùng Caribe và hơn thế nữa. Nước Anh cũng có phần của riêng mình. Nhà sử học thế kỷ 18 là Daniel Neal, trong cuốn *The History of New-England* (Lịch sử New-England), đã lưu ý rằng Piscataqua là “nơi giao thương cột buồm trọng yếu cho sự thống trị của bất kỳ ông hoàng nào.”^[12]

Thật không may cho Hải quân Hoàng gia, cuộc cách mạng thành công ở Mỹ ba thập niên sau đó đã cắt nguồn cung gỗ thông trắng cho Anh. Họ buộc phải quay trở lại sử dụng các cột buồm “làm sẵn”: những cột buồm ghép yếu hơn làm từ những thân cây buộc quanh một trục chính giữa.

Bên cạnh việc làm than để luyện sắt, người Anh khai thác gỗ để xây nhà, chuồng và hàng rào; để sản xuất thủy tinh và tinh chế chì; xây cầu, bến tàu, âu tàu, thuyền đi kênh và pháo đài; để làm thùng bia và thùng rượu táo. Nhiều ngành trong số đó tiêu thụ nhiều gỗ như hải quân, thậm chí còn hơn. Ngay cả hoàng gia cũng có lỗi trong việc khai thác quá đà các khu rừng hoàng gia, trong khi Quốc hội làm ngơ. Một sử gia kết luận, “Đòn kết liễu cuối cùng đối với ngành khai thác rừng là kết quả của sự bỏ bê và lạm dụng liên tục.”^[13]

Nhà nông nghiệp thời Vua James I là Arthur Standish ít quan tâm đến nhu cầu của Hải quân Hoàng gia, ông quan tâm đến cái mà ông gọi là “sự tận diệt và lãng phí gỗ nói chung” khi xuất bản cuốn *The Commons Complaint* (Khiếu nại của nhân dân) với sự tán thành của Vua James I vào năm 1611, song ông đã thêm “gỗ... cho hàng hải” như một trong những sự thiếu hụt mà ông đã tiên đoán trước. Luận giải một trong những bài phát biểu của nhà vua trước Quốc hội trong bản tóm tắt hậu quả rất đanh thép của mình, Standish kết luận: “Và ta có thể hiểu rằng, *không có gỗ, không có vương quốc.*”^[14]

Một phương pháp khác tiết kiệm hơn là đốt than đá - quặng than biển hay than mỏ - người thời Elizabeth gọi vậy để phân biệt với than củi. (Than về bản chất là bất kỳ loại than hòng nào cháy được, than củi từ đốt gỗ, than biển hoặc than mỏ từ nhiên liệu hóa thạch, tùy thuộc vào việc nó nằm ở vùng đất cao trên mặt biển hay được đào dưới đất lên.) Harrison, trong

đề bút năm 1577 của ông cho tuyển tập thời Elizabeth *Holinshed's Chronicles* (Ký sự của Holinshed), nhận thấy miền Trung nước Anh đã chuyển sang nhiên liệu hóa thạch: “Chúng ta có rất nhiều mỏ than ở phía bắc và phía tây các đảo của chúng ta, có thể đủ cung cho cả vương quốc Anh.”^[15] Than đã phục vụ thợ rèn hàng trăm năm nay. Thợ nấu xà phòng sử dụng nó; những người đốt vôi nung đá trong lò để làm vôi sống cho thạch cao; người làm muối đun nước biển trong chảo sắt, một quá trình tốn nhát rất tốn kém nhiên liệu để lấy muối bảo quản thực phẩm trong nhiều thế kỷ trước khi nhân loại biết ướp lạnh.

Thế nhưng khói cay nòng và mùi lưu huỳnh của than ở miền Trung nước Anh đã không khuyến khích người dân sử dụng than trong các ngôi nhà không có ống khói nơi thịt được quay trên lò lửa không che chắn. “Các quý phu nhân London,” một nhà chép sử đã gọi chúng như vậy, không chịu xuất hiện trong những ngôi nhà. Vào năm 1578, Nữ vương Elizabeth I đã khó chịu với mùi khói than thổi vào Cung điện Westminster từ một nhà máy bia gần đó và đã bỏ tù ít nhất một chủ xưởng bia vào năm đó vì tội xác láo.^[16] Một công ty sản xuất bia bị trừng phạt cũng đề nghị chỉ dùng gỗ làm chất đốt gần cung điện.

Giống như điện hạt nhân của thế kỷ 20, nhưng mang tính chất chính đáng, trong thế kỷ 16 và 17 người ta e ngại than là thứ độc hại và ô nhiễm do nguồn gốc ma quỷ của nó: “độc hại khi đốt trong nơi ở,” một sử gia đã tóm tắt những định kiến thời Elizabeth, “và... đặc biệt gây tổn thương cho da người. Người ta đã quy đủ loại bệnh tật cho việc sử dụng nó.”^[17] Thứ đá đen được tìm thấy ẩn sâu dưới lòng đất khi đốt cháy phát ra thứ lửa thối rữa của địa ngục - như phần của quỷ Satan - các mục sư đã than vãn như vậy. Các nhà thơ và giáo sĩ từ lâu đã lên án việc dùng than cũng như ngành công nghiệp khai khoáng. Chúng ta sẽ mượn ngòi bút Geoffrey Chaucer trong bài thơ ngắn mang tên “The Former Age” (Thời đã qua) viết vào năm 1380 để đặc tả:

*Nhưng nguyên rủa là thời gian, tôi dám nói,
Rằng đâu tiên con người đã làm thứ công việc ướt đẫm mồ hôi của họ
Để mài giữa thứ kim loại, ẩn nấp trong bóng tối,
Và trong những dòng sông, những viên đá quý đâu tiên được kiếm tìm.
Than ôi! Rồi vỡ ra tất cả sự nguyên rủa*

Của lòng tham, nỗi đau chính chúng ta mang đến.^[18]

Nhà văn hóa người Đức Georgius Agricola, một bác sĩ ở thị trấn khai mỏ Joachimstal, đã diễn giải các lập luận của những người gièm pha ngành khai khoáng trong tác phẩm năm 1556 mang tên *De re Metallica* (Bàn về kim loại) và trích lời kết tội việc khai mỏ của Ovid. Bài thơ La Mã này, ông viết, đã miêu tả con người đang sa “vào lòng đất, [nơi] họ đào lên sự giàu có, những ham muốn trụy lạc, thứ mà mặt đất đã che giấu và đưa vào bóng tối của sông mê. Sau đó, thứ sắt tàn phá đã xuất hiện, rồi vàng, tàn phá hơn sắt; rồi chiến tranh nổ ra.”^[19] Một thế kỷ sau cách mạng nông nghiệp, John Milton vẫn lên án việc khai mỏ, đánh đồng nó với thiên thần sa ngã Mammon trong tập đầu tiên của trường ca *Paradise Lost* (Thiên đường đã mất):

*Có một ngọn Đồi không xa với ngọn chớp ghê sợ
Ngọn lửa khủng khiếp và khói ủa ra; khắp toàn thân
Lóe sáng trên đầu, dấu hiệu rõ ràng
Rằng trong gan ruột núi cố giấu quặng,
Sinh ra từ lưu huỳnh. Từ đó vùng cánh bay
Một lũ đoàn vôi vãi...
Mammon dẫn dắt họ,
Mammon, linh hồn ít ngay thẳng nhất đã rơi
Từ Thiên Đường, ngay cả trên Thiên Đường, về ngoài và suy nghĩ
Luôn cúi xuống, thêm thêm thường
Sự giàu có của đường tời Thiên Đường, dẫm đạp lên vàng,
Không để thần hay thánh khác tận hưởng
Tuyệt diệu trong tâm trí: phải để hấn trước
Con người cũng vậy, và theo lời dạy của hấn,
Lục lợi trung tâm, với đôi tay nghịch đạo
Vơ vét ruột gan Đất mẹ
Tìm kho báu được giấu kỹ.*^[20]

Dẫu có đôi tay nghịch đạo hay không thì những người thời Elizabeth vẫn thiếu gỗ, nên họ bắt đầu đào than và dùng làm chất đốt. Để làm đi ầu

đó mà không gây ngạt họ cần ống khói để lưu thông. Nhà chép sử Harrison nói rằng những người đàn ông lớn tuổi trong làng của ông nhận thấy sự gia tăng của ống khói, “trong khi thời trẻ họ chỉ thấy hai hoặc ba ống khói.” Đối với Harrison, tình thế này rất đáng nghi ngờ, thậm chí có thể là một hiểm họa hiển hiện:

Bây giờ chúng tôi có nhiều ống khói, và những người yếu ớt trong chúng tôi phàn nàn về chứng sổ mũi, viêm đường hô hấp và cảm cúm; hồi đó chúng tôi không có gì trong nhà ngoài lò sưởi reredos, và đầu chúng tôi không bao giờ đau. Vì khói trong những ngày đó được cho là giúp cho gỗ trong nhà cứng vững, nên người ta cũng tin nó một loại thuốc tốt hơn nhiều để giữ cho đàn ông khỏe mạnh và gia đình của anh ta khỏi bị khàn giọng hay cảm cúm, và rồi họ trở nên quen dần.^[21]

Các chuyến tàu than ầm ầm đến Newcastle trên sông Tyne, một cảng than được mở rộng trên sông Tyne ở phía đông bắc nước Anh, đã tăng tải trọng tương ứng từ khoảng 35.000 tấn vào giữa thế kỷ 16 lên đến 400.000 tấn vào năm 1625. Chỉ trong hai thế hệ, sử gia J. U. Nef kết luận rằng “việc buôn bán than từ sông Tyne đã nhân lên gấp 12 lần.”^[22]

Khi Nữ vương Elizabeth I qua đời ở tuổi 69 vào năm 1603, vua Scotland, James VI đã hợp nhất ngai vàng của Scotland và Anh để trở thành Vua James I, dời chuyển về London. Người Scotland đã khai thác cạn kiệt rừng của họ từ hơn một thế kỷ trước người Anh. Họ đã thích nghi với việc dùng than, và may mắn cho họ, than Scotland cứng đốt sạch hơn và sáng hơn so với than mỡ mền của Newcastle. Hàm lượng lưu huỳnh trong than anthracite của Scotland chỉ có 0,1%, so với 1% đến 1,4% trong than mỡ của Anh.^[23] Thật không may, than anthracite Scotland cũng cháy nhanh hơn, khiến nó đắt tiền hơn. Chi phí không phải là vấn đề đối với nhà vua nên ông đã vận chuyển than Scotland chất lượng tốt đến Westminster để sưởi ấm cung điện. Bất chước nhà vua, những người London giàu có đã học theo cung cách đó. Giới trung lưu cũng bắt đầu đốt than. Nhờ có than người London mới có thể giữ ấm và tự nuôi sống mình trong khi dân số thành phố tăng nhanh, từ khoảng 200.000 người vào năm 1600 lên 350.000 người vào năm 1650.^[24]

Các ống khói cần được quét dọn để ngăn chặn hỏa hoạn, một công việc chết người mới ra đời dành cho trẻ em năm, sáu tuổi. Chúng đi trên phố reo vang “Quét! Quét!” để tìm người thuê, trèo trổng bò qua những ống khói hẹp như những cây chổi sống. Năm 1918, trong “Đơn thỉnh cầu của những người quét ống khói nghèo của Thành phố London trình dâng Đức Vua,” đã có 200 người quét ống khói phàn nàn rằng thành phố này có nguy cơ bị hỏa hoạn và họ đã “khao khát được làm việc” vì người dân bỏ bê làm sạch ống khói của họ. Họ xin một người giám sát được chỉ định để vào nhà dân và buộc các chủ sở hữu phải làm sạch ống khói của họ. Bản kiến nghị đề xuất người giám sát và các nhân viên của anh ta có thể được trả lương bằng cách “giao cho họ số tiền hóng thu thập được,” có thể bán làm phân bón. Nhà vua tỏ ra thông cảm, nhưng Thị trưởng thành phố London thì không: ông ta tuyên bố rằng đã sẵn có những nhân viên giám sát tình trạng của ống khói ở London, do đó kiến nghị của những người quét ống khói nghèo bị khước từ.^[25]

Tiếp xúc liên tục với bồ hóng và dầu mỡ dẫn đến dịch bệnh mụn cóc tràn lan (ung thư biểu mô tế bào vảy ở vùng bìu) trong giới thợ quét ống khói. Bệnh này được xác định bởi bác sĩ phẫu thuật người Anh Percivall Pott vào năm 1775, là bệnh ung thư đầu tiên được xác định là có liên quan trực tiếp đến một ngành nghề công nghiệp. Phần bìu là điểm xâm nhập của bệnh ung thư này vào cơ thể do đó là bộ phận cơ thể nơi mà mồ hôi đầy bồ hóng của người quét dọn đọng lại khi họ làm việc trong ống khói ở London.

Kỹ sư Richard Gesling đã phát minh ra một phương pháp kết hợp than nhiên liệu của Newcastle với các vật liệu phổ biến như rơm rạ vụn, mùn cưa, thậm chí cả phân bò. Ông gọi chúng là viên than (tròn), nó giống như than bánh (than luyện miến) hay dùng trong vườn của người Mỹ để nướng thịt, nó cháy sạch hơn so với chỉ đốt than không. Gesling qua đời trước khi ông có thể công bố phương pháp của mình, nhưng ai đó đã xuất bản nặc danh một báo cáo về sản phẩm này với tiêu đề *Artificiall Fire, or, Coale for Rich and Poore* (Lửa nhân tạo hay than cho người giàu và nghèo) vào năm 1644.^[26] Dù tác giả nặc danh này là ai thì anh ta cũng có mục đích rõ ràng: mùa đông năm đó ở London rất khắc nghiệt cả trong nhà cũng như ngoài trời. Những người theo phe Bảo Hoàng lúc này đang tiến hành nội chiến chống lại nhóm tín đồ Thanh giáo của Oliver Cromwell và các nghị

sĩ Quốc hội ủng hộ ông ta, với sự hậu thuẫn của Scotland. Năm 1644, quân đội Scotland bao vây Newcastle, chặn than đến London. Tác giả của *Lửa nhân tạo* viết một cách khinh miệt về “một vài phu nhân mũi cao của thành phố thường bảo chồng của họ; ôi phu quân! Chúng ta sẽ không bao giờ an lành, con cái chúng ta cũng thế, chừng nào còn phải sống trong mùi khói than biển của thành phố này.” Nhưng với việc Newcastle đang bị phong tỏa và than đang khan hiếm ở London, “có biết bao nhiêu những quý phu nhân này giờ gào khóc, rằng ôi Chúa đã ban cho chúng ta than biển, ôi lòng ham muốn lửa nay hủy diệt chúng ta! Hỡi ngọn lửa than biển ngọt biếc mà chúng ta từng có!”

Than càng thay thế gỗ thì màn khói dày đặc, độc hại hơn cũng trở thành một thứ bệnh dịch. Từ năm 1591 đến năm 1667, các chuyến hàng than vào London đã tăng từ 35.000 tấn lên 264.000 tấn; đến năm 1700, tải trọng đó tăng gần gấp đôi lên 467.000 tấn.^[27] Nguồn cung cấp nhiên liệu hóa thạch đầy đủ đã giữ cho con người ấm áp và duy trì sự phát triển của ngành công nghiệp Anh, nhưng nó cũng làm ô nhiễm bầu không khí của London. John Evelyn, một người viết nhật ký giàu có kiêm người làm vườn, một trong những người sáng lập Hiệp hội Hoàng gia London,⁽¹⁾ đã chỉ trích thành phố trong tác phẩm công kích có tiêu đề *The Character of England* (Phẩm giá nước Anh), xuất bản năm 1659.

Về London, Evelyn đã viết, mặc dù lớn nhưng “[London] là một thành phố rất xấu xí, với nào những xe ngựa và những người gã đánh xe xấc xược, nào cửa hàng và quán rượu, nào tiếng ồn, và một đám mây than biển [khói], giống như địa ngục trần gian trên Trái đất, ở trong ngọn núi lửa này [vào] những ngày nhiều sương mù: thứ khói bệnh đó... ăn mòn cả sắt, và làm hỏng đồ đạc, để lại muội than trên tất cả những thứ mà nó bén tới; cuối cùng kết liễu lá phổi của cư dân, đến nỗi cơn ho, và bệnh lao phổi sẽ không từ một kẻ nào. Tôi đã có mặt trong các nhà thờ rộng rãi, nơi tôi không thể nhìn rõ được mục sư vì khói, cũng không nghe thấy lời ông nói vì tiếng ho của người đi lễ.”^[28]

Là một người mặt mày buồm bã, nghiêm trang nhưng mang khát vọng vinh quang, Evelyn đã làm được nhiều hơn là chỉ biết có phàn nàn. Ông đã tìm cách để làm sạch không khí. Ông được bổ nhiệm làm một trong những ủy viên ban phụ trách thoát nước thải của London. Và vì ông có hứng thú với làm vườn và cây cối nên trí óc sáng tạo của ông đã tập trung vào việc

đưa ngành công nghiệp và các nhà máy ra khỏi London và tiếp sức thêm hương cho thành phố với các loài hoa - đảo ngược tình hình, ít nhất là ở địa phương, chuyển từ gỗ sang than. Ngày 29 tháng 5 năm 1660, Vua Charles II được đưa trở lại ngai vàng vào sinh nhật thứ ba mươi, cái đầu của Oliver Cromwell đã được bảo quản và bêu lên một ngọn giáo trên cầu London sau 17 năm rông rã nội chiến không có vua. Viễn cảnh của Evelyn về một London tươi mới và trong lành hơn cũng được tiếp sức bởi trật tự công cộng được tái lập ở đây.

Một ngày nọ khi đang đi dạo ở Whitehall, Evelyn đã tâu với nhà vua đề xuất của ông, rằng “khí thứ khói xác xược... dám xâm phạm chính điện rồi tất cả các cung, gian trưng bày, và các hành lang đều bị xâm lấn và ô uế; đến mức mà quan lại với gia nhân khó có thể nhìn ra nhau vì thứ mây mù đó, rồi không kẻ nào có thể chịu đựng mà chẳng thấy bất tiện gì.”^[29] Ông cũng tỏ ý rằng bản thân đã trần trở bấy lâu về vấn đề này, nhưng nó là “một thứ tai ương độc hại,” và là “rắc rối mà nó đem đến cho Bệ hạ, cũng như ảnh hưởng tới sức khỏe của ngài,” đã truyền cảm hứng cho Evelyn viết lời ra đề xuất này. Ông đã đặt tên thật kêu, thật trang trọng là: *Fumifugium: or, the Inconvenience of the Aer, and Smoake of London Dissipated* (Fumifugium: hay, sự bất tiện của không khí, và khói mù London bị xua tan, trong đó tiền tố “Fumi-” có gốc là từ *fumus* tiếng Latin, nghĩa là khói, và “fuge là từ gốc tiếng Latin, nghĩa là xua đi hay xua đuổi, gần giống từ *Fumigation*). Để khơi gợi sự quan tâm của nhà vua, Evelyn tuyên bố rằng dự án sẽ biến cung điện và toàn thành phố trở thành nơi “ngọt ngào và dễ chịu nhất trên thế giới, và đi đâu này sẽ hầu như không tiêu tốn gì cả.”^[30]

Evelyn định nghĩa “không khí tinh khiết” là “trong lành, thông thoáng, ngọt ngào, lưu chuyển với những cơn gió thoảng; không quá gắt mà ôn hòa.”^[31] Ông nhận xét rằng London nên được tận hưởng khí trời như vậy: nó được xây trên nền đất cao, đất sỏi “rất dầy dào và được tưới tiêu bốn mùa... với những dòng nước kết tinh các đài phun nước trên mọi con phố.” Thành phố dốc xuống “một dòng sông hiền hòa và được xử lý nước thải tốt,” giúp mang đi chất thải công nghiệp để rồi sẽ tiêu tan dưới ánh mặt trời.^[32] Ông cho rằng việc đốt than trong các gia đình gây ra ít ô nhiễm cho không khí hơn là việc đốt than trong thương mại. Không, ông đã chỉ một cách sắc sảo rằng khói bụi ô nhiễm chết chóc đến từ “các xưởng bia,

xưởng nhuộm, lò đốt vôi, n ồi nấu muối và xà phòng, và một số ngành nghề tư nhân khác,” chứ không phải là từ “những ngọn lửa bếp núc.” Người London đã gặp phải những vấn đề đó từ thời Trung cổ r ồi. Khi họ nổi lửa khói than thì “Thành phố London như biến thành núi lửa Etna, cung điện của thần lửa Vulcan, núi lửa Stromboli, hay vùng rìa Địa ngục.” Khói mù độc hại đó đem theo “một lớp vỏ hay cặn b ồ hóng dày phủ lên tất cả những gì nó lan tới, phá hoại đồ đạc, làm xỉn các đồ mạ vàng và nội thất, ăn mòn cả sắt và đá cứng nhất cùng với các oan hồn réo rắt và tàn khốc đi kèm với lưu huỳnh.”^[33]

Không chỉ làm ô nhiễm môi trường xây dựng ở London, Evelyn khẳng định khói than cũng gieo rắc bệnh tật và giết chết công dân London, “số người trong một năm phải bỏ mạng còn hơn cả trong hàng trăm năm tiếp xúc với không khí thu ần khiết của nông thôn. “Những người di cư đến London đều cảm thấy một sự đảo lộn hoàn toàn trong cơ thể họ, giờ bị khô hoặc viêm nhiễm, các thể dịch bị kích thích và có khuynh hướng thối rữa, các giác quan và m ồ hôi... bỗng bị vắt kiệt, đi kèm với chứng biếng ăn và cảm giác đờ đẫn nói chung.” Tuy nhiên, những lữ khách này đã nhanh chóng phục h ồi sức khỏe khi họ về đến nhà, vậy thủ phạm ở đây chính là sự ô nhiễm ở London đã làm họ đổ bệnh. Evelyn thêm rằng, “Chúng ta thường xuyên nghe người ta xì xào (về một người bạn hay hàng xóm mắc bệnh), “Anh ta đến London và bị cảm nặng... r ồi thì anh ta chẳng bao giờ còn khỏe như trước nữa.”^[34]

Làm sao mà một thành phố công nghiệp đang phát triển, ngày càng mở rộng, đang trên đỉnh của cách mạng công nghiệp có thể được thanh lọc? Evelyn lập luận bước đầu tiên là cách ly London khỏi những tác nhân gây ô nhiễm: Quốc hội nên yêu cầu họ di dời 8 đến 10 km dọc theo sông Thames, phía dưới Isle of Dogs, một dặm vuông đất đầm lầy khai hoang nơi sông uốn khúc hình quả lê là chỗ khả dĩ có thể chặn khói.^[35] Evelyn biết đến nó vì vào năm 1629, một số ủy viên ban thoát nước London đã được giao trách nhiệm bảo trì công trình ở đó.

Việc di dời ngành công nghiệp đốt than ra đó sẽ giống như việc đặt các nhà máy ở các khu công nghiệp ngoại ô ngày nay, giúp làm sạch bầu không khí khói bụi của London. Thêm vào đó tạo việc làm cho “hàng nghìn người lái thuyền” cung cấp các sản phẩm công nghiệp ngược dòng vào thành phố, giải phóng các “Danh thắng và Nhà riêng” trong thành phố để chuyển

đổi thành “Nhà chung cư và một số trong số đó thành phủ quý tộc để hưởng thụ” sẽ rất hấp dẫn khách du lịch trên sông. (Đổi mới đô thị và xóa bỏ tệ nạn xã hội đã có từ tiền đề từ xưa.) Di dời khu công nghiệp đến vùng ngoại ô cũng sẽ giúp ngăn chặn hỏa hoạn, Evelyn kết luận. Ông cho rằng những vụ hỏa hoạn vô ý bắt nguồn từ “những nơi mà những vụ cháy lớn cứ không ngừng xảy ra.”^[36] London vào năm 1661 khi *Fumifugium* được xuất bản lần đầu tiên thực sự chỉ còn cách thời điểm xảy ra trận Đại Hỏa hoạn năm 1666 đúng năm năm, sự kiện đã thiêu rụi toàn bộ thành phố trong những vách tường thời Trung cổ. Song ngọn lửa đó lại bắt nguồn từ một tiệm bánh.

Di dời ngành công nghiệp đốt than ra khỏi London chỉ là bước đầu tiên của Evelyn để xử lý ô nhiễm khói. Bước thứ hai phản ánh kinh nghiệm của ông trong thiết kế vườn tược. Ông đề xuất rằng tất cả các khu đất thấp xung quanh thành phố nên được chuyển đổi thành những cánh đồng trồng hoa và cây bụi thơm, bao gồm cây tường vi, kim ngân hoa, hoa nhài, hoa hồng, cây đậu chổi Tây Ban Nha, nguyệt quế, cây bách xù, hoa oải hương, “và trên tất cả là cây hương thảo,” được đồn là có thể tỏa hương xa 160 km ra đến biển.^[37]

Ông cũng muốn lấp đầy khoảng trống giữa các cánh đồng quanh thành phố bằng hoa, và với những “ô đất trống đậu và đỗ,” “cấm trồng bắp cải bởi khi nó tàn úa sẽ có mùi nồng rất khó chịu và có hại.” Các loại hạt có hoa sẽ “mang lại hiệu quả” và có thể bán ở London; “phần cắt bỏ và cắt tỉa” có thể đem đốt vào lúc thích hợp trong mùa đông để “Thành phố có mùi khói dễ chịu hơn.”^[38]

Thế nhưng viễn cảnh của Evelyn đã không thành hiện thực. Charles II đã thảo luận với ông trên du thuyền hoàng gia *Catherine* trong một cuộc đua du thuyền trên sông Thames. Nhà vua bảo Evelyn rằng ngài đã “quyết tâm giải quyết vấn đề này” và yêu cầu ông chuẩn bị một dự luật trình Quốc hội. Evelyn đã làm theo, nhưng không có động thái nào sau đó. Nhà vua quá bận rộn với việc bán quyền độc quyền để khôi phục tài sản của mình nên chẳng còn tâm trí quy hoạch lại thủ đô ngộp khói.

Hiệp hội Hoàng gia London được thành lập vào tháng 11 năm 1660 với Evelyn là một thành viên sáng lập, đến năm 1662 đã vinh danh công trình của người làm vườn này bằng cách mời ông viết một báo cáo về tình trạng gỗ của vương quốc. Hải quân Hoàng gia cũng đặt hàng báo cáo này vì e

ngại sự khan hiếm ngày càng tăng của các cây lớn để đóng và bảo trì tàu của họ. Được ra mắt vào tháng 2 năm 1664, bản báo cáo là tác phẩm được biết đến nhiều nhất của Evelyn: *Sylva: Or, a Discourse of Forest-Trees and the Propagation of Timber in his Majesty's Dominions* (*Sylva*: hay luận về cây rừng và nhân giống cây lấy gỗ trong lãnh thổ của quốc vương). Đây là ấn phẩm được xuất bản đầu tiên của Hiệp hội Hoàng gia.

Trong nhiều thập niên sau đó, người Anh đã đốt than chủ yếu để sưởi ấm trong nhà. Thử nhiên liệu mới này vẫn phải được đi đầu chỉnh để có ích trong công việc. Đốt nó ở nhà thì đơn giản nhưng để thích ứng với sản xuất quy mô công nghiệp thì lại đầy thách thức và phức tạp. Nhà dân chỉ cần một lò sưởi với một ống khói. Công nghiệp đòi hỏi thay đổi thành phần hóa học trong than. Cùng lúc đó, nhu cầu ngày càng tăng nhanh chóng làm cạn kiệt nguồn than biển để khai thác. Than đã được đào trong các hố mở thông thẳng lên trời. Bây giờ người ta phải bắt đầu đào các đường hầm trong các mỏ sâu hơn. Đào sâu dưới lòng đất sẽ sớm đào trúng mạch nước ngầm. Một số mỏ có thể được thoát nước, nhưng các mỏ quá sâu để thoát nước sẽ bị ngập và phải bỏ không. Các công nghệ giản đơn đã giúp chuyển đổi từ gỗ sang than khi những khu rừng ở Anh cạn kiệt. Than tạo ra nhu cầu mới và sẽ ban thưởng cho những kẻ tìm ra cách đến được với nó.

DÂNG NƯỚC BẰNG LỬA

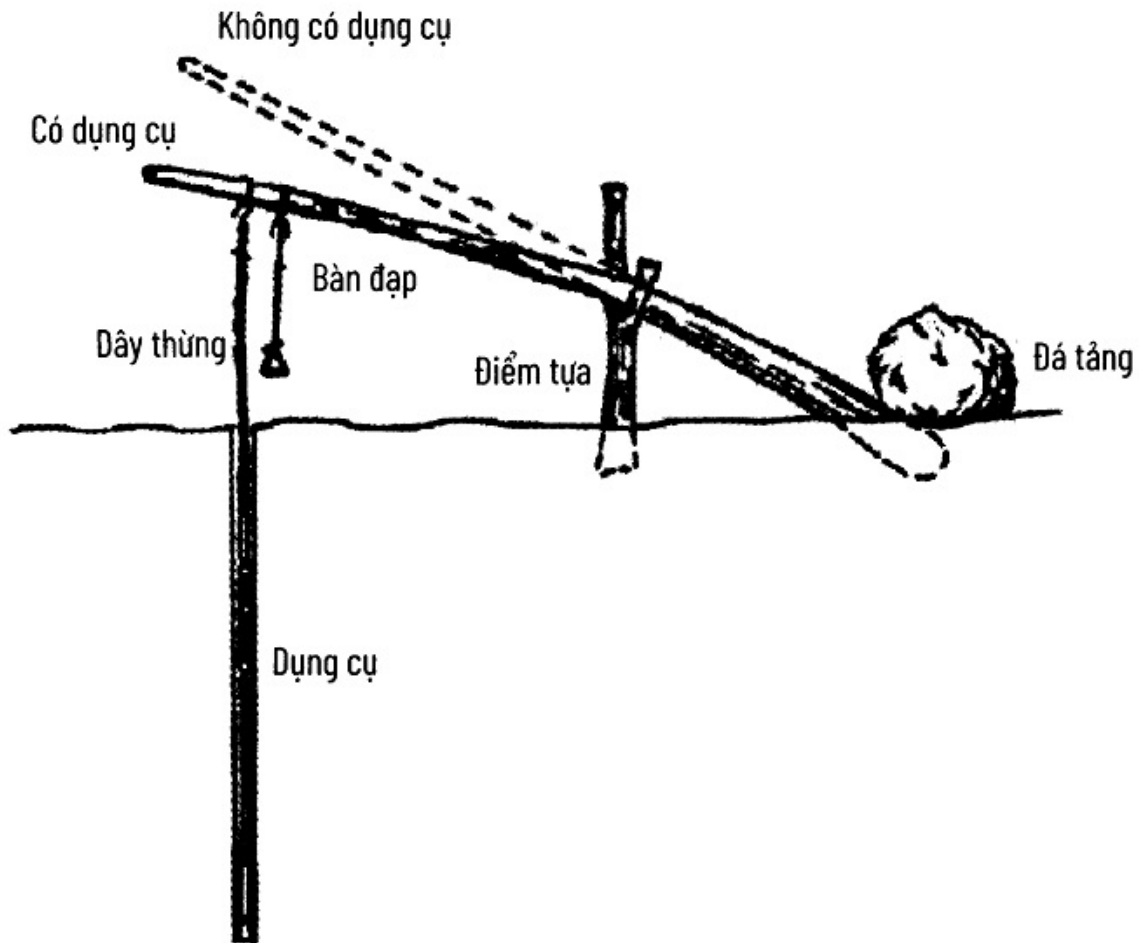
Để đào than, thợ đục phải tìm được vỉa than. Than khoáng là phần còn lại bị nén và carbon hóa của các loài thực vật cổ đại, nằm trên những tầng dưới lòng đất trên phần lớn Quần đảo Anh, dày đặc ở miền Trung nước Anh và dầy đặc nhất ở phía đông bắc quanh Newcastle trên sông Tyne. Khi một vỉa than lộ ra trên một mũi đất hoặc một sườn đồi, người ta có thể đào lên trực tiếp, nhưng các mạch lộ thiên có thể tiếp cận như vậy đã sớm cạn kiệt. Các vỉa than nông là đối tượng tiếp theo được khai thác, dễ dàng tìm được và dễ dàng thu thập bằng cách hót đất sỏi hoặc đào nhiều hố hình chuông.

Khi than thay thế gỗ trong sưởi ấm gia dụng và trong công nghiệp, và khi dân số Anh tăng lên thì thợ mỏ buộc phải tìm các vỉa sâu hơn. Một vỉa than ở Anh có thể có độ dày từ vài centimet đến mười mét (rất hiếm). Nó có thể nằm dưới lòng đất ở bất cứ nơi nào từ độ sâu hai đến năm mét hay hơn hai trăm mét. Nó có thể chạy song song với mặt đất hoặc nghiêng lên hoặc xuống. Nước có thể chảy qua mạch than hoặc qua các tầng xốp bên trên hoặc bên dưới nó. Thường thì nó chứa những túi hoặc kênh khí độc hại dễ nổ.

Dò mạch thường bao gồm các việc đào giếng hoặc khoan dò, thường là cả hai. Đào giếng có nghĩa là đào một giếng mở đường kính gần hai mét bằng cuốc và xẻng với một cái tời phía trên mặt đất nhằm đưa đất đá lên dưới một tấm bạt để khỏi bị mưa. Nước ngầm và cát lún đã thách thức các thợ mỏ, cách giải quyết thời đó là gia cố mỏ bằng gỗ đóng vào đất hoặc đất sét hoặc nhồi da cừu chưa xén lông.

Đá là thử thách tiếp theo khó khăn hơn. Đá cứng đòi hỏi phải khoan, thợ sẽ đục một lỗ đường kính 7,5 cm xuyên vào đất bằng cách sử dụng một cái đục gắn vào đầu của một chuỗi các thanh sắt rèn. Một cây sào đàn hồi

dùng làm đòn bẩy. một đầu được chôn xuống đất và được chèn bằng một hòn đá nặng, một điểm tựa hình chạc ba sẽ đỡ điểm giữa thân sào, và đầu tự do còn lại sẽ nâng và thả cây đục xuống với sự trợ giúp của những đôi chân mạnh mẽ của người thợ mỏ trên bàn đạp.

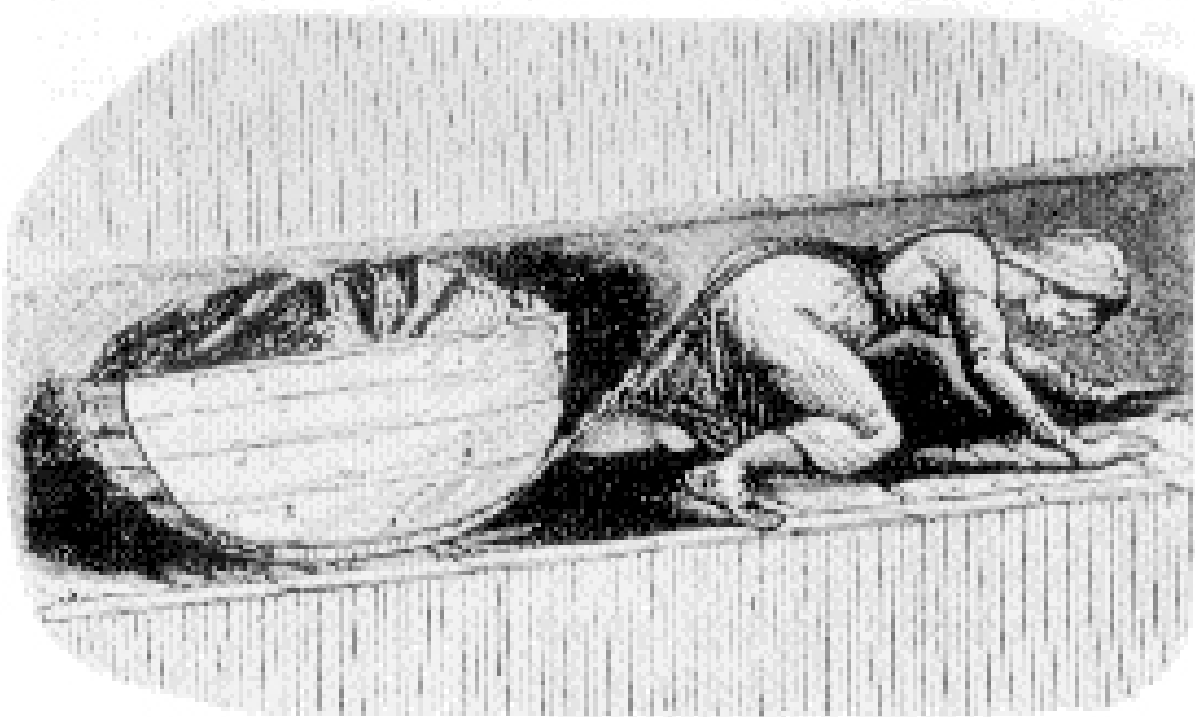


Sau mỗi lần thả, thợ mỏ xoay cây đục một phần tư vòng để làm cho lỗ tròn. Cứ sau 15 cm, cây đục phải được kéo lại để mài lại đầu và kiểm tra xem có than không - công đoạn này ngày càng tốn công khi lỗ sâu hơn. Nếu đá vụn (thợ gọi là “đá nát”^[1]) bịt kín lỗ, người ta sẽ kéo đục lên và thay thế bằng đầu khoan có ren để thông lỗ. Để xuyên qua đá cứng thì một mét mỗi ngày được coi là tiến độ tốt. Tìm được các vỉa than sâu có thể mất một năm hoặc hơn, thợ mỏ được trả công cao hơn khi chuỗi khoan kéo dài ra, đồng nghĩa công việc trở nên khó khăn hơn.^[2] Nếu khoan được vỉa than, lỗ phải được mở rộng thành giếng mỏ bằng cuốc xẻng.

Một ghi chép ở thế kỷ 17 về khoan lỗ ở Yorkshire báo cáo từng lớp khoan một như sau: “Sâu xuống đất 1 yard, qua đất sét vàng 1 yard, qua đá đen 1 quarter [23 cm], qua đá dăm xám 2 yard, qua đá whinstone [đá cứng màu tối giống như đá bazan] 1 quarter, qua đá dăm xám 2 quarter, qua đá whinstone 1 foot, qua đá dăm xám 1 foot, qua quặng sắt” - và cứ thế đào qua các lớp liên tiếp cho đến khi cuối cùng chạm đến một vỉa than dày khoảng 30 cm. Ghi chép kết luận, “Tổng cộng là 21 sải” - 38 mét công khoan đục qua đất và đá.^[3]

Một khi mở được mỏ than thì nó phải được giữ khô. Một chuyên gia thời Victoria gọi nước - từ mưa chảy vào giếng mỏ và từ dòng chảy ngầm - là “kẻ thù lớn đầu tiên của người thợ mỏ.”^[4] Nếu đất gần đó dốc xuống dưới nền mỏ thì nước có thể thoát ra bằng cách đào một đường hầm hẹp gọi là adit (từ *aditus* tiếng Latin có nghĩa là lối vào), từ đó nước có thể thoát tự nhiên ra ngoài. Đường thông này cũng giúp cung cấp không khí trong lành vào mỏ. Trong các mỏ ếm túi khí, hệ thống thông gió tự nhiên như vậy được kiểm soát nhờ hệ thống cửa gỗ. Vì đường thông thường không rộng quá 116 cm² nên phải dùng trẻ em để canh cửa, ngủ trong bóng tối đến 12 tiếng mỗi ngày - tiết kiệm chi phí cho một ngày nến hay dầu đèn. Phải đến khi Quốc hội Anh cải cách Luật Khai mỏ vào năm 1842 thì người ta mới cấm phụ nữ và trẻ em dưới mười tuổi làm việc tại các mỏ, khi cả gia đình lao động dưới lòng đất: những người đàn ông bỏ than bằng cuốc; phụ nữ tải than ra trong những giỏ đan bằng liễu gai trên lưng hoặc bằng xe goòng sắt hoặc gỗ buộc dây đai và xích; những đứa trẻ giúp kéo than hoặc phụ trách các cánh cửa. Các gia đình phải tự trang bị thiết bị cho mình và được trả theo khối lượng than mà họ đem ra. Sau này trong các mỏ lớn hơn người ta nhốt ngựa con vĩnh viễn dưới lòng đất để kéo xe chở than.

Một cô gái mười bảy tuổi mà chữ tên Patience Kershaw, đã làm chứng trước ủy ban Quốc hội Anh vào cuối năm 1841 về những điều kiện lao động mà cô đã trải qua khi làm “người vác” vận chuyển các tảng than từ miệng hầm đến cửa mỏ:



Tôi đi vào hầm lúc 5 giờ và chui ra lúc 5 giờ tối; tôi ăn sáng với cháo và sữa trước; tôi mang theo đồ ăn tối trong người, một chiếc bánh, và ăn nó khi làm việc; tôi không dừng lại hoặc nghỉ ngơi bất cứ lúc nào; tôi không nhận được gì khác cho đến khi về nhà, sau đó có khoai tây và thịt, không phải ngày nào cũng có thịt. Tôi vội vã mặc quần áo đang mặc bây giờ, quần dài và áo khoác rách; vết hói trên đầu tôi là do đẩy thúng than; chân tôi chưa bao từng bị sưng, nhưng các chị em gái tôi thì bị khi họ làm ở xưởng; tôi đẩy thúng đi hơn một dặm dưới lòng đất mỗi chuyến; nó nặng hơn 336 pound; tôi đi 11 chuyến như thế mỗi ngày; tôi đeo dây đai và xích kéo khi làm việc, để văng thúng ra ngoài; đôi khi các đốc công đánh đập tôi, nếu tôi không đủ nhanh, đánh bằng tay của họ; họ đánh vào lưng tôi; lũ trai trẻ tự do hành hạ tôi; đôi khi bọn chúng kéo lê tôi khắp nơi; tôi là đứa con gái duy nhất trong hố; Có khoảng 20 trai trẻ và 15 người đàn ông; tất cả những người đàn ông đều trần truồng [để chịu đựng nóng và ẩm]; tôi thà làm trong xưởng còn hơn là trong hầm than.^[5]

Các loại khí trong mỏ than có thể gây chết người. Những người khai mỏ gọi đó là khí mỏ, gốc là từ *dampf* trong tiếng German cổ, nghĩa là hơi. Các thợ mỏ người German lần đầu tiên đã mang các kỹ năng và thuật ngữ của họ đến Anh vào thời Trung cổ. Khí mỏ hình thành dưới lòng đất từ các

quá trình hóa học và sinh hóa tự nhiên. Thợ mỏ xác định được năm loại: khí ẩm gây sặc - chokedamp (hỗn hợp nitơ và carbon dioxid); gây nổ (mê-tan); gây nổ và sặc - stinkdamp có mùi như trứng thối (hydro sunftia); gây nghẹt thở - whitedamp (carbon monoxid); và nghẹt thở dần - afterdamp (hỗn hợp các loại khí: carbon monoxid, carbon dioxid, nitơ và các sản phẩm khác của vụ nổ khí mê-tan hoặc bụi than).^[6] Khi các mỏ kéo dài và sâu hơn, lưu thông không khí tự nhiên không còn đủ hiệu quả để thông khí mỏ. Một giải pháp là duy trì một mồi lửa ở đáy mỏ trung tâm - được gọi là mắt mỏ - sẽ hút không khí qua mỏ như ống khói. Thế nhưng tai nạn phát nổ là phổ biến và đôi khi rất khủng khiếp.

Kỹ sư khai mỏ thời Victoria tên Robert Galloway đã ghi nhận: “Hiện tượng người bị bắn ra khỏi hố... là một sự kiện thường xuyên, thực sự gần như xảy ra liên tục với những vụ nổ mỏ thời kỳ đầu ở bất kỳ quy mô nào.”^[7] Một vụ nổ lớn đã xảy ra vào năm 1675 tại Mostyn, xứ Wales, trên sông Dee, phía đông nam Liverpool. Khi mỏ được mở vào năm 1640, những người khai thác đã xây dựng một hệ thống để triệt tiêu khí mỏ vào đầu mỗi ngày làm việc bằng cách cử một người của họ đi trước với một chùm nến được gắn vào đầu gậy dài để mồi khí ẩm tích tụ từ đêm trước. Họ gọi người đó là anh lính lửa. Anh ta mặc quần áo bao tải cũ được ngâm nước làm đồ bảo hộ. “Khi ngọn lửa cháy dọc theo trần hầm,” Galloway viết, “người lính lửa nằm bẹp trên sàn mỏ cho đến khi ngọn lửa đi qua vị trí của anh ta.”^[8] Thông gió sẽ ngăn khí mê-tan tích tụ vào ban ngày, và sáng hôm sau người lính lửa sẽ lặp lại quy trình mồi lửa đầy rủi ro của mình.

Đến năm 1675, mỏ Mostyn đã hoạt động được hơn ba thập niên. Sau đó, các chủ sở hữu quyết định đào vào một vỉa than song song nằm sâu hơn. Hố mỏ sâu 15 mét này chứa đầy khí mỏ. Theo báo cáo của Galloway thì việc mang lửa vào đã tạo ra một vụ nổ “dữ dội ghê người.”^[9] Thế nhưng đi đầu tể tệ hơn vẫn chưa xảy ra.

Sau một chuyến làm việc ba ngày, một viên quản hầm xuống miệng hố tìm cách thông cho hết khí lưu cữu. Ông ta mang theo hai thợ mỏ. Những người đào hầm khác theo sau. Theo lời kể thì “một trong số họ đã bất cẩn hơn những người còn lại, đi trước với cây nến của mình ngay mắt hầm vẫn đang đầy khí mỏ, ngay lập tức khí mỏ bắt lửa và lan đến mọi góc ngách của hầm, với gió lớn và lửa bùng lên, và một tiếng nổ ầm ỉ.” Những người

khai mả thục người sau cửa để che chắn và nắp sau những cột trụ chống hầm. Vụ nổ gần rú đến tận đáy mỏ và dội lại cửa hầm: “Vụ nổ có sức mạnh không tưởng, gió và lửa xé tan quần áo trên lưng họ, và thiêu rụi phần còn lại, đốt trụi tóc, làm bỏng mặt và tay họ, áp lực vụ nổ bỏng rát trên da của họ như thể bị quất bằng roi vậy.” Những người xấu số không kịp trú ẩn bị thổi bay qua hầm, đập mạnh vào nóc hầm hoặc quấn vào cột trụ, bất tỉnh nhân sự.^[10]

Một thợ mỏ đang đứng gần mắt của hầm trên khi vụ nổ ập tới chỗ anh ta. Nó cuốn anh ta theo khi lan trong hầm, bùng ra từ mắt hầm với một tiếng nổ như tiếng súng đại bác, hất văng cơ thể người thợ mỏ lên tận ngọn cây. Người đàn ông xui xẻo đã bị bắn từ dưới hầm lên như đạn súng thần công.

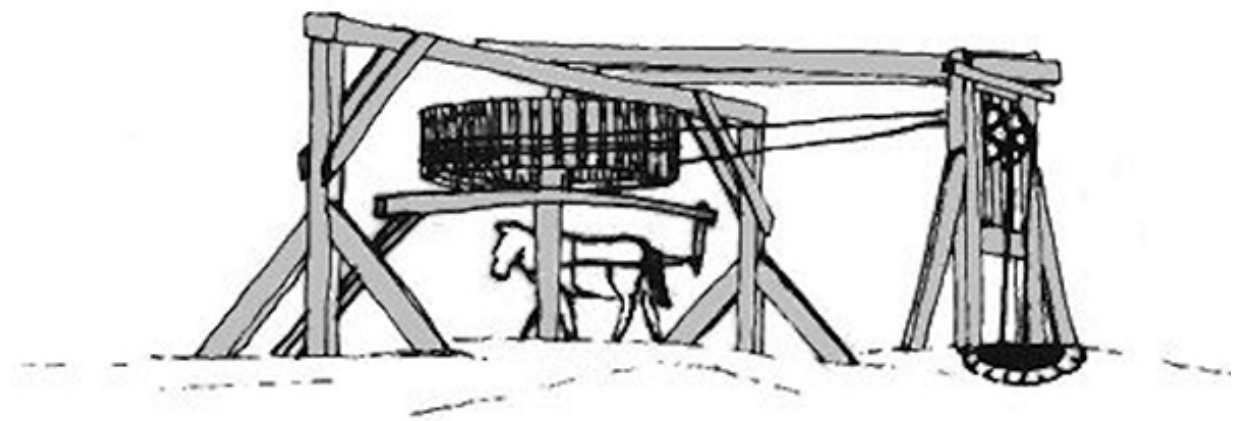
Thách thức khó khăn nhất của khai thác than thời kỳ đầu là thoát nước. Nước mưa chảy qua các khe và dòng chảy hòa vào suối và suối chảy ra sông, từ sông đổ ra biển, cứ thế chảy xuống nhờ trọng lực. Khoảng một phần ba lượng mưa ngấm vào đất và thấm vào lòng đất. Cuối cùng, nó gặp phải các lớp đá không thấm nước. Ở độ sâu đó, nước lan ra và chảy dọc theo lớp đá cho đến khi tìm thấy vết nứt hoặc đá thấm để rồi tiếp tục thấm qua lớp cách nước tiếp theo. Do đó, ngấm, lọc, lan rộng, nước bão hòa đá mềm tạo thành một hồ nước ngầm: một tầng ngậm nước. Để làm một giếng nước, ta phải đào hố đủ sâu xuống mặt đất để thâm nhập bên dưới bề mặt tầng ngậm nước này; lỗ của bạn sẽ hút đầy nước đến cùng bề mặt đó - còn gọi là mực nước ngầm - và tự đầy trở lại khi nước rút.

Các mỏ trên đất cao có thể được rút cạn bằng đường thoát nước, nhưng khi các vỉa than lộ thiên cạn kiệt, chủ hầm phải mở các vỉa sâu hơn kéo dài sâu dưới mực nước ngầm. Sau đó, nước phải được bơm ra hoặc mỏ sẽ ngập. Nhiều người đã cố lấy thêm tiền thưởng cho việc tìm ra phương pháp rút cạn nước và giữ cho chúng thoát nước để than có thể được khai thác. Thoát nước mỏ là đi đầu mà Galloway gọi là “bài toán thiết kế vĩ đại của thời đại.”^[11]

Không thể dùng guồng gió cho việc bơm trong thời tiết thất thường của nước Anh. Guồng nước có thể hoạt động khi có đủ nước, nhưng dòng chảy thay đổi theo mùa. Cũng không có nhiều mỏ bị ngập ở gần suối có lưu lượng nước phù hợp. Các ông chủ mỏ đầu tiên dùng ngựa buộc vào các trục quấn (những chiếc trống nằm ngang to bằng cối xay nước), ngựa sẽ đi

thành vòng tròn, sức xoay sẽ kéo hoặc thả một dây thừng cứng vững đi qua ròng rọc xuống h ần mỏ.

Trục xoay sức ngựa kéo nước lên trong xô. Họ cũng dùng nó để chuyển than lên mặt đất. Galloway kết luận rằng hệ thống này vừa tốn kém vừa có hiệu năng thấp: ngựa phải được mua hoặc nhân giống và nuôi nấng, cho ăn và chăm sóc. “Trong một số trường hợp, cần tới 50 con ngựa được thuê để tát nước cho mỗi mỏ” - một khoản chi phí không dưới 900 bảng mỗi năm (ngày nay là 113.600 bảng, tương đương 169.000 đô-la). Với các mỏ sâu hơn thậm chí không thể thoát nước với sức ngựa thì buộc phải bỏ hoang. Mỏ ngập, mất vốn, mất việc làm nay mở ra cơ hội cho các phát minh và sáng tạo khoa học.



Bệ kéo và trục xoay dùng sức ngựa

Khám phá khoa học sẽ mở đường. Việc bầu khí quyển có trọng lượng đã được phát hiện kể từ năm 1643 qua thí nghiệm, người kế tục của Galile là Evangelista Torricelli. Các thí nghiệm của Torricelli đã dẫn đến việc phát minh ra áp kế cột thủy ngân, giúp đo sự thay đổi của áp suất không khí, nghĩa là thay đổi mật độ của cột không khí phía trên áp kế. Kỹ sư người Phổ Otto von Guericke đã trình diễn áp lực của bầu khí quyển vào năm 1654 trong một triển lãm công cộng nổi tiếng trước Hoàng đế Ferdinand III tại Regensburg. Von Guericke rút không khí trong hai bán cầu đồng và gắn nó vào giữa tám đội ngựa. Chỉ có áp suất khí quyển giữ hai bán cầu lại với nhau, nhưng các đội ngựa không thể kéo chúng tách khỏi nhau.



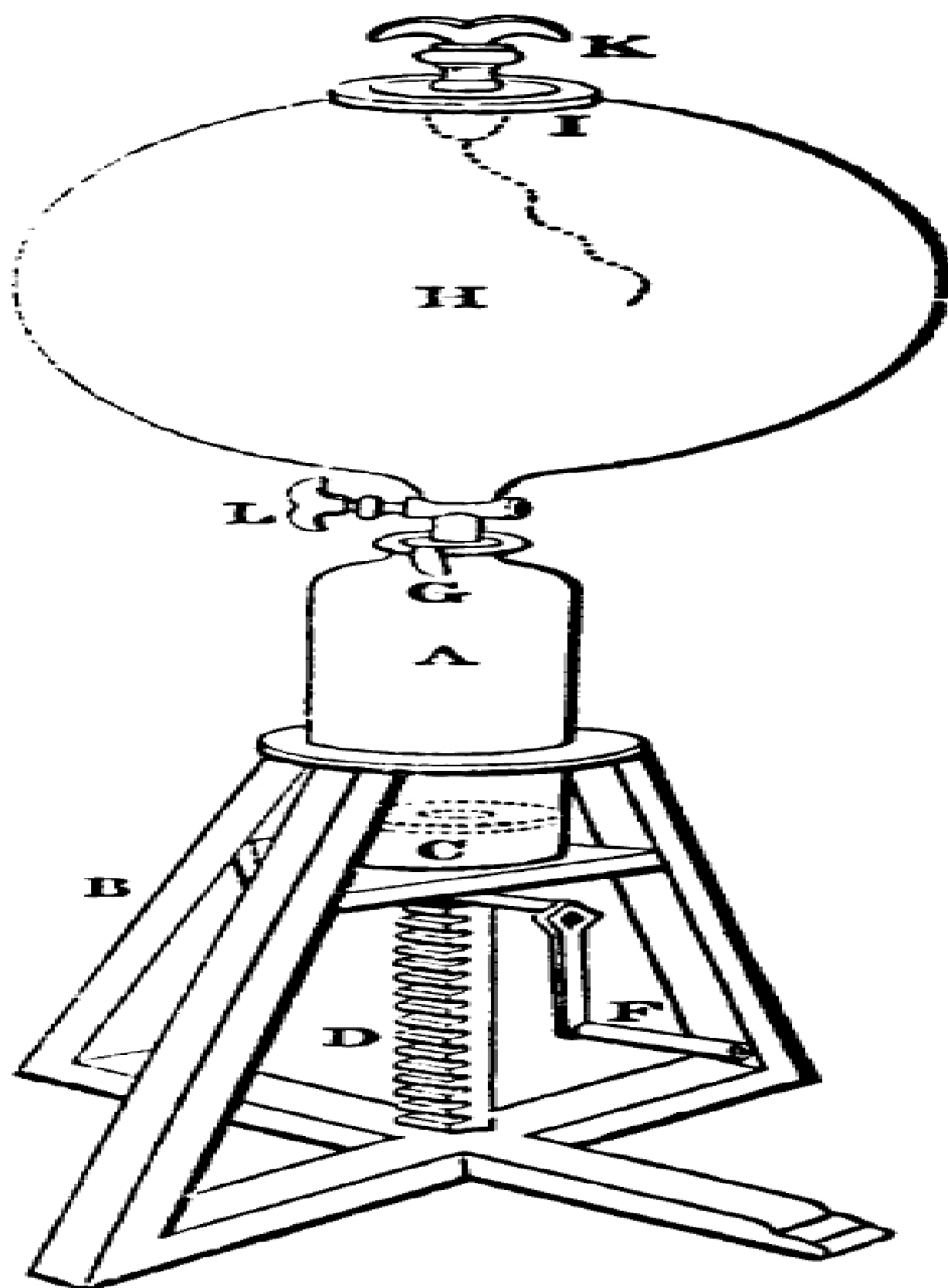
Thí nghiệm của Von Guericke trình diễn áp suất không khí cưỡng lại chân không.

Một người bạn của Von Guericke, nhà toán học Dòng Tên Kaspar Schott, đã thêm một báo cáo về sự kiện này (và một hình minh họa sống động mô tả buổi trình diễn đó) vào một cuốn sách ông xuất bản năm 1657. Ở Anh, nhà triết học tự nhiên⁽²⁾ giàu có người Ireland Robert Boyle, con trai của một công tước, đã đọc các thí nghiệm và trình diễn của Von Guericke trong khi Boyle đang cố gắng tìm ra cách tạo chân không ở quy mô lớn hơn trong ống thủy tinh hẹp của áp kế Torricelli.^[12] Boyle đã rất ấn tượng với trình diễn của Von Guericke, không ấn tượng mấy với hệ thống tạo chân không trong phòng thí nghiệm của ông. Von Guericke đã tạo ra chân không trong phòng thí nghiệm bằng cách bơm không khí từ một cái bình được đảo ngược trong một bát nước. Boyle muốn thử nghiệm với chân không để xem điều gì sẽ xảy ra với một ngọn nến đang cháy được đựng trong bình chân không khi không khí được bơm ra, không phải là một thí nghiệm mà ông có thể làm với một buồng kín sâu dưới nước.

Mặc dù lúc đó ông đang sống ở Oxford, Boyle đã nhờ đến Ralph Greatrex, một nhà sản xuất nhạc cụ nổi tiếng ở London. Greatrex đã không thể chế tạo một máy bơm không khí khả dụng. Có một giáo sư Oxford, giảng viên hóa học đã giới thiệu Boyle cho Robert Hooke, một người trẻ tuổi nhưng khéo léo, mới hai mươi ba tuổi vào năm 1658 và đã là trợ lý phòng thí nghiệm cho vị giáo sư. Boyle đã thuê Hooke để giúp cho ông. Sau nhiều nỗ lực không thành công khi sử dụng thiết kế của người khác, Hooke đã thiết kế một máy bơm chân không khả dụng. Đó là một công cụ

hệ đầu tiên, rõ ràng và chậm chạp, nhưng nó cho phép Boyle tiến hành các thí nghiệm tiếp theo.

Fig. 1.



Thiết bị bơm không khí đầu tiên của Hooke và Boyle. Sau khi rút nút chặn K trên đỉnh quả cầu, nhét vật liệu thí nghiệm qua lỗ mở và lắp nút chặn lại, vận piston C trong xi-lanh A xuống sẽ rút không khí khỏi quả cầu. Đóng van L để không cho không khí tràn vào quả cầu trong khi vận piston lên. Khi piston C lấp đầy hoàn toàn xi-lanh, mở van L lần nữa sẽ rút thêm không khí ra khỏi quả cầu, tăng dần khoảng chân không lên.

Thiết bị bơm của Boyle cùng các thí nghiệm chân không tiếp theo của ông không chỉ chứng minh rằng có thể tạo ra chân không để nghiên cứu và nó có các đặc tính đặc biệt (dập tắt nến, truyền ánh sáng nhưng không truyền âm thanh). Nó cũng cho thấy lực của áp suất không khí: trọng lượng của bầu khí quyển ở trên và xung quanh chúng ta. Boyle viết: “Có một cái Lò xo, hay sức mạnh Co giãn trong Không khí quanh chúng ta.”^[13] Câu hỏi sau đó là làm thế nào để khai thác một thế lực hùng mạnh như vậy ở quy mô lớn hơn bên ngoài phòng thí nghiệm.

Con người đã thử sử dụng nhiệt để tạo ra chân không cục bộ kể từ đầu thế kỷ 17. Một người Hà Lan tên Cornelius Drebbel đã phát minh ra một cơ chế đơn giản để sử dụng lửa hút nước ra vào năm 1604, được minh họa trong một cuốn sách của ông sau này.

Drebbel treo một bình kim loại hình bầu trên ngọn lửa với miệng bình ngập trong một xô nước. Khi lửa làm nóng bình, không khí bên trong sẽ giãn nở và bọt sẽ sủi ra trong xô nước. Khi tắt lửa, lượng không khí còn lại trong bình sẽ nguội đi, co lại và tạo ra một vùng chân không cục bộ. Sau đó áp suất không khí xung quanh sẽ đẩy nước từ xô vào miệng bình. Thiết bị bơm đơn giản của Drebbel là một phát minh có tiềm năng. Mở rộng và cải tiến thiết kế hơn nữa, nó sẽ có thể hút nước từ một con sông để cung cấp cho một cộng đồng chẳng hạn.

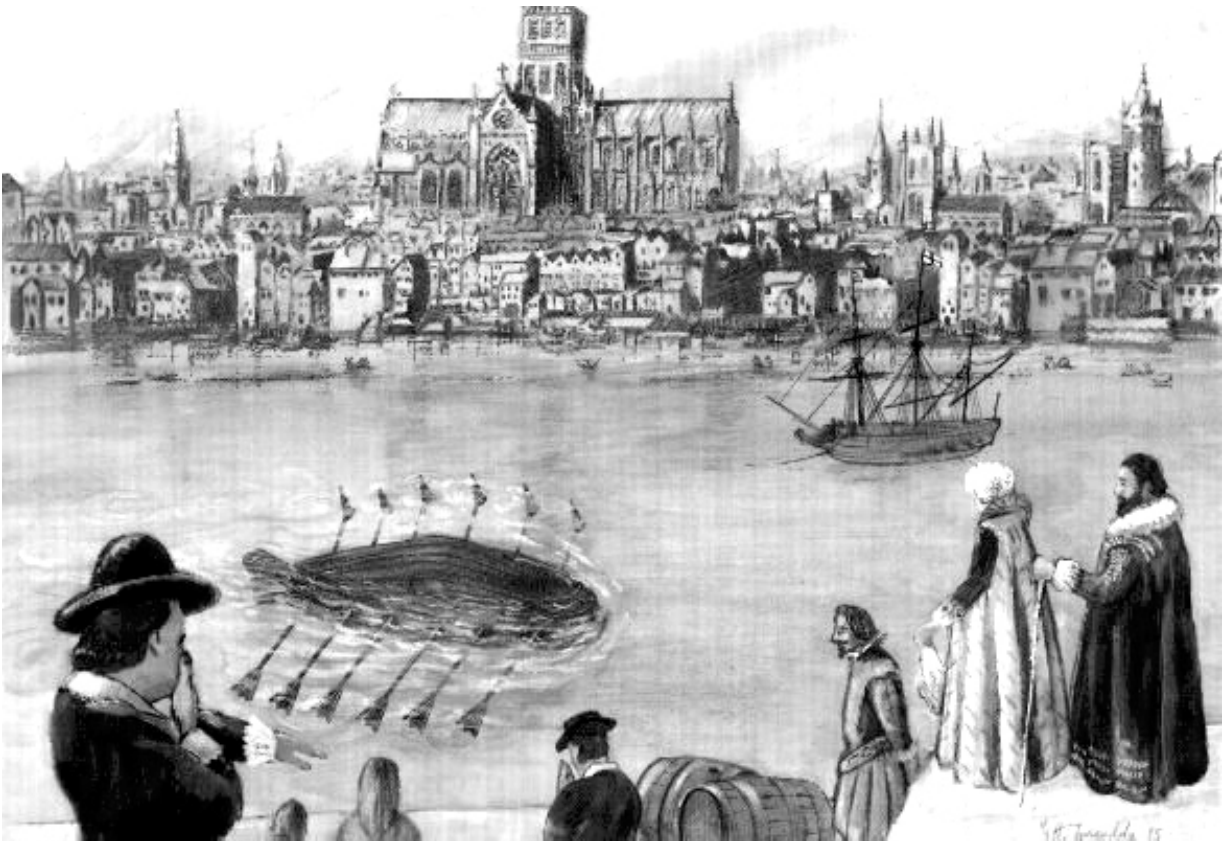


Thiết bị bơm thô sơ của Drebbel

Drebbel là “một người có mái tóc sáng và rất đẹp trai, và có quy cách lễ giáo không chê vào đâu được,” theo lời kể của một tri ều thần từng gặp ông trực tiếp.^[14] Ông cũng đưa ra những phát minh khác: từ những cơ chế phun nước đến thiết bị đo áp suất “chuyển động vĩnh cửu” được trình diễn trước cả hoàng gia.^[15] Năm 1605, ông tới London làm gia sư cho Henry Frederick, Hoàng thân xứ Wales, con trai cả của Vua James I. Lời đồn đại về những sáng chế của ông lan khắp châu Âu, đưa các quý tộc đại lục đến London để quan sát ông làm việc. Khi Hoàng đế La Mã Thần thánh, Rudolf II, mời Drebbel đến Prague, dù muốn ở lại Anh, ông không có lựa chọn nào ngoài chấp nhận lời mời. Cái chết của Hoàng đế Rudolf vào năm 1612

đã giải phóng cho ông. Nhưng không may thay, Hoàng thân xứ Wales cũng băng hà vào năm đó ở tuổi 18 vì bệnh thương hàn. Drebbel cuối cùng phải quay về dưới trướng Vua James I ở Anh vào năm 1613.

Nhiều người đã cười nhạo Vua James vì tài trợ cho Drebbel, “xúc xiêm rằng nhà phát minh bất diệt này chưa phát minh được bất cứ thứ gì tương xứng với số tiền đổ vào.” Một người ủng hộ nhà phát minh người Hà Lan là một nhà ngoại giao và nhà thơ trẻ người Hà Lan tên Constantyn Huygens, người lần đầu gặp Drebbel ở London vào năm 1621. Huygens xếp Drebbel ngang hàng với thiên tài vĩ đại người Anh Francis Bacon. Huygens ca ngợi rằng “với kiến thức thâm sâu, Drebbel đã đóng góp cho khoa học các công cụ cơ khí vô cùng giá trị.”^[16]



Tàu nguyền Drebbel trên sông Thames, năm 1620

Phát minh giá trị của ông hẳn phải là tàu nguyền Drebbel, chiếc tàu nguyền đầu tiên, một chiếc chuồng lặn thon dài được ông trình diễn trên sông Thames trước Hải quân Hoàng gia vào năm 1620. Ông đã lấy một chiếc thuyền với phần bụng thuyền được tháo ra rồi lắp vào một sàn gỗ hình vòm, phần gắn mái chèo và bánh lái được bịt kín bằng các miếng đệm da

và toàn bộ thuyền được bọc bằng da chống thấm. Tàu có thể ở dưới nước hàng giờ liền và có lý do để tin rằng Drebbel đã biết cách tạo ra oxy hóa học từ muối mỗ kali - kali nitrat - để cung cấp khí thở trong tàu ngầm. (Nitrat là hợp chất của nitơ và oxy.)^[17]

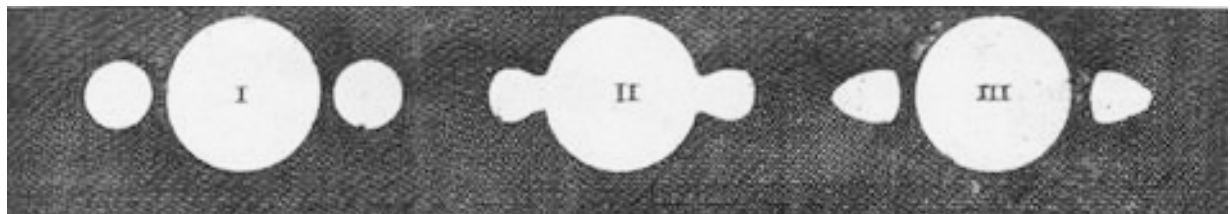
Sau đó vào những năm 1620, Drebbel chế tạo mìn và hỏa tiễn cho Hải quân Hoàng gia vốn đang cố gắng giải vây cho nhóm Tin Lành Huguenot đang bị quân Pháp bao vây ở La Rochelle.^[18] Con trai của Huygens, Christiaan, được sinh ra vào cuối thập niên đó, sẽ trở thành một trong những nhà triết học tự nhiên vĩ đại của thế kỷ 17. Drebbel qua đời năm 1633, nhưng nhờ có tình bạn với cha của Christiaan, người đàn ông Hà Lan có tài phát minh này đã có ảnh hưởng sâu sắc đến sự phát triển của cậu bé.

Tên tuổi của Christiaan Huygens được biết đến với tư cách là nhà toán học và nhà thiên văn học. Sau khi học luật và toán học tại Đại học Leiden, ông đã xuất bản cuốn sách đầu tiên của mình, về một nhánh toán học gọi là phép cầu phương - tính được diện tích của một đối tượng hình học như hình tròn - vào năm 1651 khi ông mới có 11 tuổi. Trong thập niên 1650, Huygens đã học cách mài thấu kính và phát minh ra mắt kính ghép đầu tiên cho kính thiên văn. Năm 1656, ông đã nhận diện chính xác được hệ thống vành đai “tai” nhô ra từ Sao Thổ mà các nhà thiên văn học khác đã nhìn thấy. Cũng trong năm đó, ông phát minh ra đồng hồ quả lắc.

Những đóng góp này và nhiều phát hiện khác nữa đã tạo bước đệm cho chàng trai tài giỏi và sáng tạo này được chọn làm giám đốc đầu tiên của một viện hàn lâm khoa học mới của Pháp, một dự án của Jean-Baptiste Colbert, bộ trưởng tài chính của Vua Louis XIV, lấy hình mẫu từ Hiệp hội Hoàng gia Anh. Colbert hi vọng rằng một tổ chức như vậy, được thành lập vào năm 1666, có thể tạo ra kiến thức khả dĩ cho công nghiệp hóa từ đó tăng doanh thu cho triều đình. Huygens đã tóm tắt dự án của mình cho các thành viên mới được bổ nhiệm của viện như sau:

Không có chủ đề nào hay hơn cho nghiên cứu, và không có gì hữu ích hơn để biết, ngoài nguồn gốc của trọng lượng, nóng, lạnh, từ tính, ánh sáng, màu sắc, các hợp chất trong không khí, nước, lửa và tất cả các vật chất đã được xác định, hơi thở của động vật, sự phát triển của kim loại, đá và thực vật, tất cả những vật chất mà con người có hiểu biết rất hạn hẹp hay chưa biết gì.^[19]

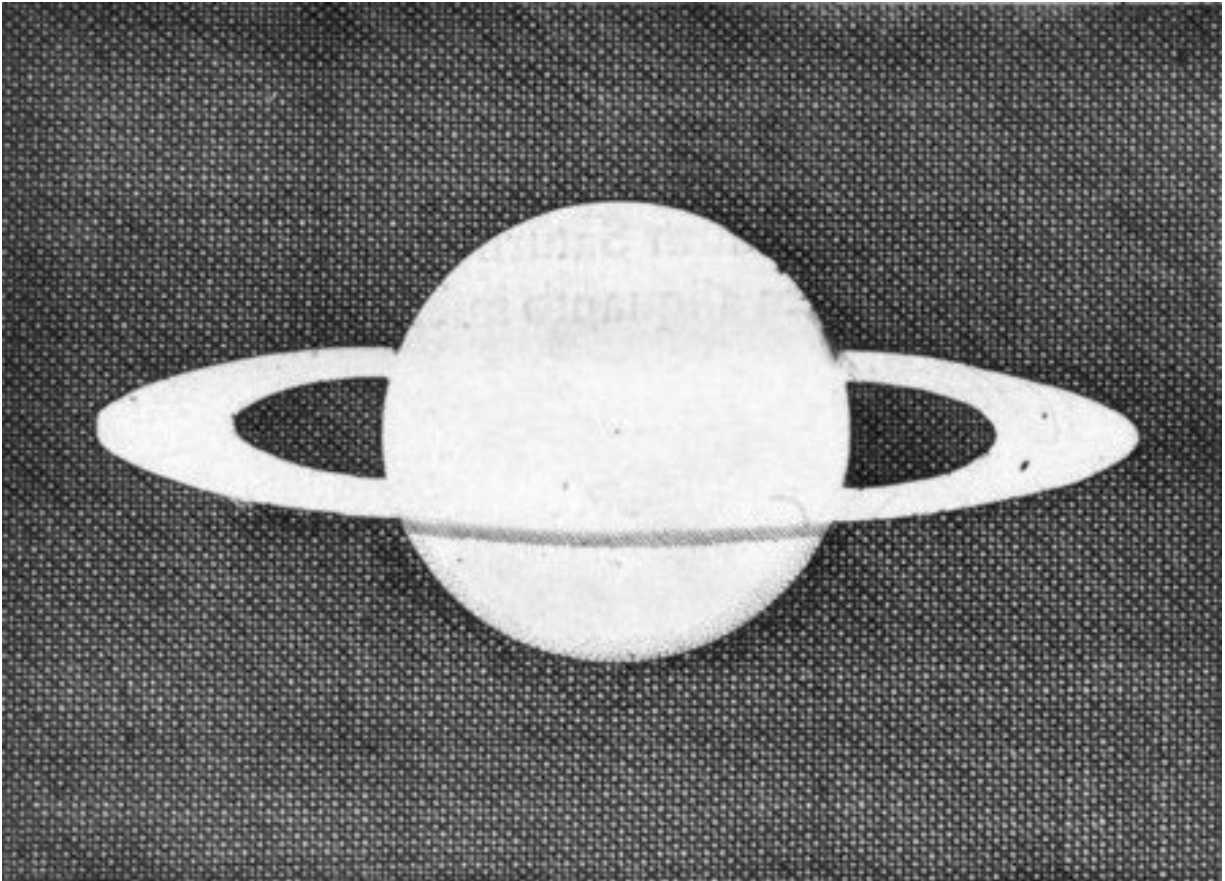
Trong số các công nghệ ứng dụng mà Huygens đánh giá là đáng theo đuổi có hai phương thức khả dĩ nhằm tạo ra lực chuyển động: “Nghiên cứu về năng lượng của thuốc súng bằng cách cho một lượng nhỏ vào trong vỏ sắt hoặc đồng rất dày. Nghiên cứu về năng lượng của nước được chuyển thành hơi nước nhờ lửa.”^[20]



Các hình ảnh phác thảo đầu tiên về Sao Thổ: (1) Galileo, 1610; (2) Christoph Scheiner, 1614; (3) Giovanni Battista Riccioli, 1641. Huygens đã công bố những hình ảnh này và các quan sát thiên văn khác trong cuốn sách năm 1659, trong đó ông nhận diện chính xác phần “tai” của Sao Thổ thực chất là các vành đai.

Năm 1672 khi Huygens đang theo đuổi dự án thuốc súng thì có một học giả 26 tuổi người Đức là Gottfried Leibniz đến Paris để nhờ Huygens giúp ông nâng cao kiến thức về toán học. Huygens đồng ý và sắp đặt Leibniz nghiên cứu phép cầ phương và tính giá trị của số pi.

Một đối tác khác trong cuộc “phiêu lưu với động cơ chạy bằng thuốc súng của Huygens là Denis Papin, một bác sĩ trẻ hơn Leibniz một tuổi, người đã bỏ ngành y để theo đuổi ngành kỹ thuật. Huygens gặp Papin năm 1671 tại Versailles, cung điện vĩ đại của Louis XIV cách Paris gần 20 km về phía tây nam, nơi vị kỹ sư trẻ này được giao quản lý hệ thống bơm chạy bằng cối xay gió vận hành các đài phun nước trong hệ thống vườn rộng lớn của cung điện. Công việc của Papin gây ấn tượng với Huygens đến mức ông lập tức thuê Papin làm trợ lý.



Phiên bản Sao Thổ của Huygens trong cùng cuốn sách năm 165: Systema Saturnium (Hệ tinh hà Sao Thổ)

Nhiệm vụ mà Huygens đặt ra cho hai người kế nghiệp của mình vào năm 1672 là phát triển một động cơ chạy bằng thuốc súng. Sự tò mò này rõ ràng đã được thai nghén và có lẽ đã được định hình nhờ Caspar Kalthof, một kỹ sư và nhà chế tạo súng người Hà Lan. Kalthof đã làm việc nhiều năm cho Hoàng gia Anh tại Vauxhall, một ban quần nhu thí điểm hoạt động ở khu Lambeth của London, cùng là nơi Drebbel đã phát triển chiếc tàu ngầm của ông. Huygens đã gặp Kalthof trong chuyến thăm London và ra về với ý tưởng về cách vận hành động cơ thuốc súng. Cái chết của Kalthof vào năm 1667 hoặc năm 1668 khiến dự án bị bỏ ngỏ cho bất kỳ ai muốn chọn theo đuổi nó.

Leibniz, người từng trao đổi với Von Guericke, trước đó đã viết xong một báo cáo về thí nghiệm chân không của kỹ sư người Phổ này cho một thành viên khác của viện hàn lâm Pháp.^[21] Động cơ thuốc súng mà ông và Papin hiện chế tạo cho Huygens thể hiện một phương pháp khác để biến áp suất không khí thành cơ năng: một lượng nhỏ thuốc súng phát nổ bên dưới

một piston bên trong một xi-lanh kim loại thành dày, đẩy một phần không khí ra khỏi xi-lanh thông qua các van có nắp, tạo ra vùng chân không cục bộ. Áp suất không khí bên ngoài ở đầu mở của piston sẽ đẩy nó trong vào xi-lanh. Nếu piston được gắn vào một thanh dẫn hoặc dây cáp thì các vật thể được kết nối với chúng sẽ chuyển động.

Huygens đã trình diễn một mô hình của động cơ này với Colbert. Nó đã nâng “bốn hoặc năm người hầu... một cách dễ dàng,” ông nói, những người hầu này có thể đứng trên một cái bục được nối với dây cáp của piston.^[22] Huygens giả định rằng động cơ thuốc súng của ông “có thể được áp dụng để nâng đá lớn cho xây dựng, để dựng tháp, để nâng nước cho đài phun nước, hoặc vận hành cối xay ngũ cốc.” Kỹ sư người Hà Lan này dự đoán “sẽ có các loại phương tiện mới trên đất liền và dưới nước” và thậm chí là “một số phương tiện để di chuyển trên không.”^[23]

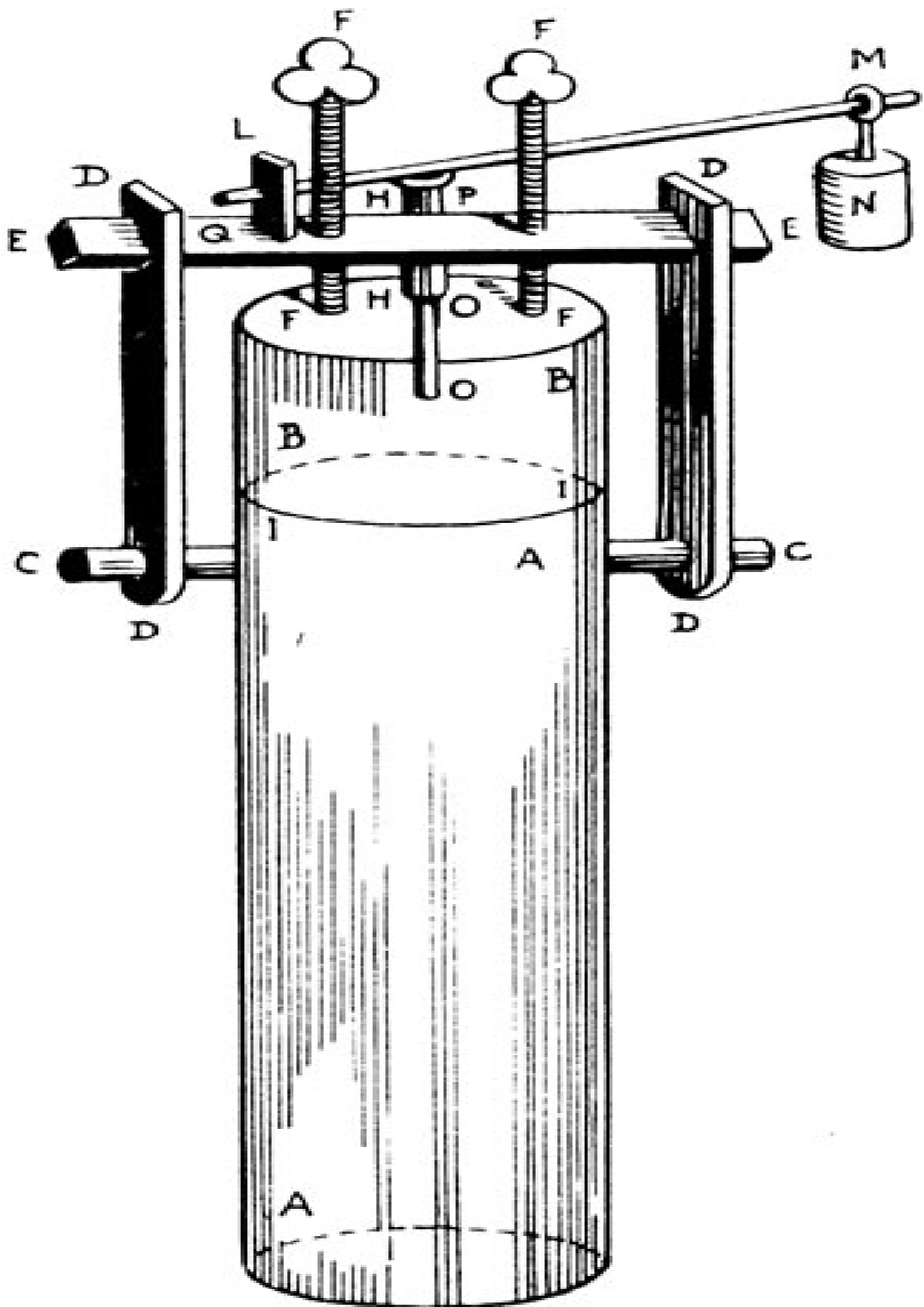
Thế nhưng động cơ thuốc súng đã không hoạt động tốt. Khí thải từ quy trình nổ không thoát hết khỏi xi-lanh đã làm hạn chế vùng chân không; thêm vào đó cặn bột thuốc súng làm trầy xước thành xi-lanh; và theo thiết kế, các vụ nổ chỉ diễn ra một lần, nên piston cần được rút ra để chèn một lượng thuốc súng kế tiếp. Động năng thấp vậy sẽ không xay được ngũ cốc hay dâng được nước cho bất kỳ cối xay nào.

Huygens chuyển sang phát minh đồng hồ bỏ túi lên dây cót và vài năm sau, ông đặt ra nguyên lý về tốc độ hữu hạn của ánh sáng. Leibniz chuyển qua London, ở đây mặc dù được bầu vào Hiệp hội Hoàng gia, ông vẫn tiếp tục nhọc nhằn tìm kiếm một vị trí ổn định có thể cho ông thời gian để nghiên cứu triết học. Papin, người bác sĩ trở thành kỹ sư, thì nhận ra nguy cơ ngày một tăng của việc là một người theo Tin Lành ở nước Pháp theo Công giáo nên đã chuyển đến London vào năm 1675. Huygens viết thư giới thiệu tiến cử Papin với Robert Boyle, người đã mất sự phục vụ của Hooke vào tay Trường Gresham ở London và Hiệp hội Hoàng gia. Vốn không bao giờ là người làm thí nghiệm thực tế, Boyle đã thuê Papin làm trợ lý phòng thí nghiệm.

Tại London, Papin đã áp dụng kinh nghiệm ngày càng tăng của mình với hơi nước để phát minh ra một thiết bị làm như các loại rau quả cứng, thịt dai và thậm chí cả xương: nổ áp suất. Ông gọi nó là “Nồi ninh đời mới để làm mềm xương...”^[24] Ông đã trình diễn nó trước Hiệp hội Hoàng gia vào năm 1679. Vật dụng nhà bếp sáng tạo này có vẻ chẳng liên quan

đến động cơ hơi nước nhưng nó tích hợp một tính năng quan trọng cần có sau này để làm cho động cơ đó an toàn: van an toàn tự điều chỉnh. Giống như van an toàn của nồi áp suất hiện đại, van của Papin đặt một quả cân đòn bẩy trên một ống nhỏ thông với nắp nồi; khi hơi nước từ nồi đủ để nâng quả cân, một phần hơi nước sẽ được giải phóng, và áp suất bên trong sẽ giảm bớt để bảo vệ nồi khỏi bị nổ.

Papin chuyển đến Venice năm 1681 để phụ trách thí nghiệm tại một viện hàn lâm khoa học mới do Sứ thần Venice tại Anh, Ambrose Sarotti, thành lập để cạnh tranh với Hiệp hội Hoàng gia. Ông trở về Anh với tư cách là người quản lý thí nghiệm tạm thời cho Hiệp hội Hoàng gia vào năm 1684 với mức lương hằng năm khiêm tốn là 30 bảng (ngày nay là 4.000 bảng, tương đương 6.000 đô-la), nuôi hi vọng được bổ nhiệm làm thư ký của hội. Các nhân viên phòng thí nghiệm không được trao thẩm quyền khoa học ở Anh vào thế kỷ 18 bất chấp họ có tài năng đến đâu đi nữa. Họ chẳng hơn thân phận người hầu là bao, có trách nhiệm đại diện cho ý kiến của chủ nhân dù đúng hay sai.^[25] Chức vụ Papin mong muốn cuối cùng về đến tay nhà thiên văn học Edmond Halley, và vào năm 1687 Papin lại tìm đường qua châu Âu một lần nữa mong được trở thành giảng viên toán học trong số những nghiên cứu sinh theo Tin Lành Pháp khác tại Đại học Marburg ở Hessen.



“Nỗ lực” của Papin năm 1679, với van an toàn L-M-N

Tại Marburg, Papin tiếp tục các thí nghiệm của mình. Vào cuối những năm 1680, quan sát thấy nước tăng thể tích lên hơn 1.000 lần so với trước khi chuyển sang thể hơi, ông quả quyết rằng hơi nước chứ không phải thuốc súng sẽ là phương tiện trung gian hiệu quả hơn cho động cơ của mình.

Ông đã ghi vào năm 1690 như sau: “Đây là một đặc tính của nước, khi một lượng nước nhỏ, được nhiệt chuyển thành hơi, sẽ có lực đàn hồi giống như khi ở trong không khí,” - thứ này nở ra và tạo áp lực lên thành chứa nó - “nhưng khi bị làm lạnh, hơi lại biến thành nước, lực đàn hồi nói trên biến mất không còn dấu vết; tôi cảm thấy tự tin rằng máy móc có thể được chế tạo, và nước trong đó, không cần dùng nhiệt độ quá cao và với chi phí nhỏ, có thể tạo ra khoảng chân không hoàn hảo mà thuốc súng không tạo ra được.”^[26]

Papin đã đề xuất sử dụng hơi nước lấp đầy xi-lanh, đẩy piston lên điểm cao nhất, giữ piston ở đó bằng chốt trong khi xi-lanh được làm mát và hơi nước ngưng tụ lại thành nước, mất đi phần lớn thể tích mà nó đã chiếm giữ trước đó. Nếu giữ cho xi-lanh kín, hơi nước ngưng tụ sẽ để lại một vùng chân không ở vị trí cũ. Tháo chốt ra, và toàn bộ áp lực không khí sẽ đẩy piston xuống để lấp đầy chân không, kéo theo bất cứ thứ gì được gắn với nó. Một loạt máy như vậy hoạt động cùng nhau, như các xi-lanh trong động cơ ô tô hiện đại được lắp vào một tay biên, sẽ sản sinh ra một nguồn sức mạnh ổn định.

Papin nghĩ rằng các “ống trụ” của mình có thể “được áp dụng để lấy nước hoặc quặng từ các mỏ, để bắn đạn sắt qua khoảng cách lớn, để đẩy tàu đi ngược gió và vô số mục đích tương tự khác.” Trong số những khả năng này, ông quan tâm nhất đến “các tàu đi biển... Các ống trụ nhẹ của tôi sẽ không làm chậm con tàu; sẽ chiếm ít chỗ; cũng có thể được sản xuất số lượng lớn nếu một nhà máy được xây dựng và trang bị chuyên cho mục đích đó; và cuối cùng [không giống như sức người hay sức kéo của động vật], các ống trụ đó sẽ không tiêu tốn nhiên liệu trừ lúc vận hành; trong khi cập cảng, máy sẽ không tiêu tốn gì cả.”^[27]

Nguồn năng lượng cho động cơ của Papin không phải là hơi nước mà là áp lực không khí tác động lên vùng chân không tạo ra từ sự ngưng tụ hơi nước. Vì vậy để tăng công suất của động cơ cần một lượng hơi nước lớn

hơn trong các xi-lanh to hơn đủ để chịu được áp suất cao hơn. Thời đó, chưa ai biết cách tạo ra một cỗ máy với quy mô lớn như vậy. Papin hi vọng động cơ mới của ông có thể là yếu tố thúc đẩy sự phát triển máy móc như vậy.

Trong khi giảng dạy tại Marburg, Papin kết hôn với người em gái họ góa bụa của mình và trở nên khó khăn hơn vì gánh nặng gia đình mới. Ông lại nhờ Huygens tìm cho một vị trí được trả lương cao hơn. Có lẽ do đó, vào năm 1695, ông đã được bổ nhiệm làm cố vấn cho *bá tước* Moritz vùng Hanoi-Kassel, và đây là vị trí gần nhất với giới quý tộc của Papin. Không may thay, Bá tước Moritz không mấy quan tâm đến việc tài trợ cho một xưởng đúc sắt hoặc một nhà xưởng chế tạo động cơ của Papin. Thay vào đó, vị lãnh chúa muốn có những đài phun nước trong khu vườn của mình giống như ở Versailles.

Phục vụ cho dự án đó, Papin đã thiết kế và chế tạo một thiết bị bơm hơi nước để dẫn nước đến một bể chứa trên cao mà từ đó nó có thể chảy xuống nhờ trọng lực đến các đài phun nước của Moritz. Mất một năm để thiết kế và xây dựng hệ thống này. Nó hoạt động nhưng chỉ được một thời gian ngắn: một trong những đường ống bị vỡ. Papin thay ống mới, cũng lại vỡ. Ống nước thời đó chưa đủ khả năng chứa hơi nước áp suất cao.^[28]

Vị bá tước sau đó đã nghĩ ra một dự án của riêng mình, như lời Papin viết cho Leibniz vào tháng 4 năm 1698: “một kế hoạch mới, rất xứng đáng với một Ông hoàng vĩ đại, để cố gắng khám phá ra muối trong suối mặn đến từ đâu.” Để làm được điều đó, ông cần hút được “một lượng nước lớn... Tôi đã tiến hành nhiều thử nghiệm để cố áp dụng nhiệt năng cho nhiệm vụ này.” Ông xây dựng một kiểu lò mới để tạo ra những bình cô đọng lớn bằng sắt rèn và thiết kế một loại ống bể mới để thổi lửa lò. “Và thứ này dẫn đến thứ khác,” Papin kết thư. Ông đã phải thiết kế cơ sở hạ tầng theo hướng cần gì làm nấy, do đó làm chậm và phức tạp hóa tất cả các dự án.^[29]

Leibniz phúc đáp ngay thư của Papin, hỏi liệu hệ thống của ông để dâng nước có dựa trên sự co thể tích, nghĩa là ngưng tụ hơi nước để tạo chân không. Papin trả lời rằng đúng vậy nhưng *nó cũng sử dụng áp suất hơi trực tiếp*. Ông lý giải cho Leibniz rằng những hiệu ứng [trực tiếp] này không bị giới hạn như trường hợp của lực hút.^[30] Ý Papin là động cơ của ông có hai chế độ vận hành: (1) áp lực của hơi nước giãn nở; và (2), sự co thể tích

hay lực hút - khai thác sức mạnh của áp suất không khí để lấp đầy vùng chân không cục bộ. Trong giai đoạn vận hành trực tiếp của động cơ, một lượng nước nhỏ được đổ vào một xi-lanh, một piston được lắp vào và đẩy xuống cho đến khi nó tiếp xúc với nước, một nắp thông hơi được bắt vít vào xi-lanh và một ngọn lửa được đốt bên dưới. Khi nước biến thành hơi, nó đẩy piston lên, nó có một thanh kim loại lồi lò xo giúp cố định vị trí. Cho tắt lửa và để xi-lanh nguội đi khiến hơi nước nguội dần bên trong ngưng tụ lại thành nước, tạo ra vùng chân không nơi có hơi nước trước đó. Tháo thanh giữ cho phép piston, theo cách nói của Papin, “bị toàn bộ trọng lượng của không khí nén xuống,” khiến nó trượt xuống để lại lấp đầy xi-lanh.^[31] Piston được nối với một tay biên, cả hai hướng đi lên do hơi nước và đi xuống do áp suất không khí đều có thể được tận dụng để thực hiện các công việc hữu ích như bơm nước hoặc quay bánh guồng của tàu thủy.

Papin hiểu rằng việc ông chuyển sang sử dụng áp suất hơi trực tiếp là một cuộc cách mạng. Ông cho rằng với tình trạng của những con đường trong thời đại đó, có lẽ xe chạy bằng hơi nước sẽ không hoạt động được, nhưng “liên quan đến việc di chuyển bằng nước, tôi sẽ tự tăng bốc rằng tôi có thể đạt được mục tiêu này nhanh thôi nếu tôi có thể nhận được nhiều sự hỗ trợ hơn.”^[32]

Tiếc rằng Papin không thể xây dựng dù chỉ một mô hình động cơ hơi nước tác dụng kép theo thiết kế của mình. Vị bá tước bảo hộ Papin thờ ơ với việc đầu tư vào dự án, và Papin không có đủ vốn riêng. Điều tốt nhất ông có thể làm vào năm 1695 là xuất bản một cuốn sách về các phát minh của mình với nhan đề *Collection of Various Letters Concerning Some New Machines* (Bộ sưu tập các thư tín về một số máy móc mới).^[33] Trong cuốn sách này, ông đã mô tả chiếc bể Hessian của mình - một chiếc quạt quay bên trong một vỏ bọc, giống như phiên bản lớn của máy sấy tóc hiện đại nhưng không có bộ phận tạo nhiệt - và đề nghị sử dụng nó với không khí để thay thế ống bể thông thường để luyện sắt hoặc sử dụng nó để bơm nước cho đài phun nước hoặc dập lửa. Táo bạo hơn, Papin đề xuất sử dụng động cơ hơi nước của mình để rút nước trong hầm mỏ. Cuốn sách của ông đã được đánh giá trong số phát hành năm 1695 của tạp chí *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* (Văn kiện khoa học của Hiệp hội Hoàng gia London)⁽³⁾. Vì vậy những ý tưởng căn bản của ông ít nhiều

đã được lưu hành trong một số thành viên hiệp hội là độc giả của tạp chí, và gần như chắc chắn đã được biết đến rộng rãi hơn.^[34]

Phúc đáp Leibniz vào cuối năm 1698, Papin thông báo rằng ông đã có thể sử dụng áp lực hơi nước để “dâng nước lên tới 70 feet.” Đó là một thành tựu đáng kể, bởi một động cơ khí quyển chỉ sử dụng hơi nước để tạo chân không có giới hạn dâng nước là mười mét, độ cao tối đa mà áp suất khí quyển - 101 kPa tại mực nước biển - có thể tạo ra. Ông nhận thấy việc làm nóng hơi nước trên điểm sôi làm tăng đáng kể áp lực này. Ông nói với Leibniz đi đâu đó có nghĩa là hơi nước là tác nhân hoạt động tốt hơn thuốc súng.^[35] Papin đã đúng, những tiến bộ khoa học kỹ thuật trong tương lai sẽ chứng minh đi đâu đó, nhưng công nghệ thời đó không cho phép sử dụng hơi nước nóng hơn với áp suất cao, nhất là với nhiệt độ nóng chảy thấp của chất hàn được sử dụng để kết nối các tấm kim loại của nồi hơi: ở áp suất cao hơn, chất hàn sẽ chảy ra và rất dễ nổ nồi hơi.

Năm 1698, ưu tiên của Papin để làm nhà phát minh tiên phong đã gặp nhiều thách thức. Trong khi Papin trao đổi với Leibniz, một kỹ sư người Anh tên Thomas Savery đã được cấp bằng sáng chế cho “Một phát minh mới để dâng nước và đôi khi tạo chuyển động cho đủ loại cối xay hoạt động nhờ lực đẩy của lửa, thứ sẽ có ích và tạo lợi thế lớn cho việc thoát nước mỏ, cung cấp nước cho các thị trấn và cho hoạt động của cối xay nơi không có nước và gió ổn định [cho cối xay nước hoặc cối xay gió].” Giống như Papin, động cơ của Savery kết hợp cả hệ thống hơi nước trực tiếp và áp suất khí quyển để bơm nước. Mô hình thu nhỏ mà Savery đã trình diễn trước Hiệp hội Hoàng gia vào ngày 14 tháng 6 năm 1699, đã gây ấn tượng với các thành viên của hội, nhưng cũng như Papin, Savery đã gặp khó khăn khi tạo ra một động cơ với kích thước chuẩn hoạt động không trục trặc, và để giành được sự chú ý lớn thì sẽ còn khó nữa.^[36]

NGƯỜI KHỔNG LỒ MANG TỬ TUỞNG

Denis Papin là một người đàn ông trung thực. Ông có thể tuyên bố rằng Thomas Savery đã đánh cắp ý tưởng của mình cho một động cơ hơi nước kép nhưng ông cũng biết rằng những ý tưởng để dâng nước lên bằng nhiệt rất phổ biến trong kỷ nguyên Khai sáng. “Tôi không nghi ngờ chuyện một ý tưởng giống như vậy có thể nảy sinh với [ông Savery] hay với những người khác mà không cần phải học lỏm từ nơi nào đó,”^[1] ông đã trả lời như vậy khi nghe tin Savery được cấp bằng sáng chế vào năm 1698.

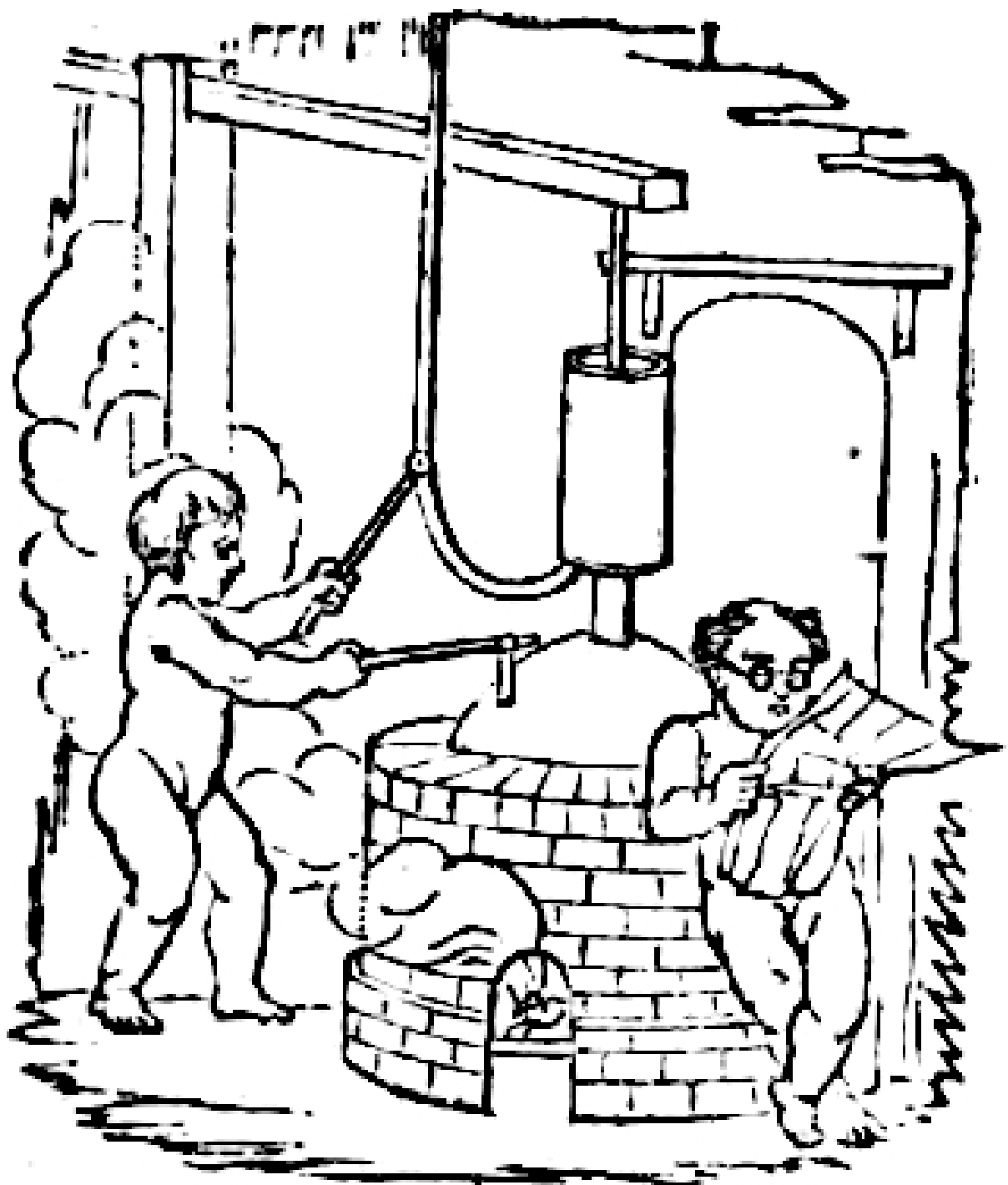
Tuy nhiên, vào năm 1704, khi Leibnitz gửi cho Papin một bản phác thảo động cơ của Savery mà ông có được qua các mối quan hệ ở London, Papin nhận thấy nó rất kém hiệu quả, thậm chí có thể không vận hành được: động cơ của Savery, trong một giai đoạn trong chu kỳ bơm của nó, đã sử dụng hơi nước để thổi nước lạnh từ bể chứa, nhưng lại không có piston để ngăn nước lạnh làm ngưng tụ hơi nước. Do đó một lượng hơi nước lớn hơn nhiều phải được bơm vào bể để đẩy nước ra.^[2] Sự hao phí năng lượng đó làm giảm hiệu suất của động cơ xuống dưới 1%.^[3] Lò hơi của Savery cũng không được bảo vệ bằng van an toàn, thứ mà Papin đã phát minh và ứng dụng từ nhiều thập niên trước đó khi ông phát triển nồi áp suất của mình và giờ đây thường xuyên được đưa vào các thiết kế nồi hơi của ông.

Tuy nhiên, động cơ Papin cũng như Savery đều có lỗi thiết kế mà cả hai đều không có cơ hội để hoàn thiện: cả hai động cơ đều được thiết kế để điều khiển bằng tay. Trình tự phức tạp của chúng cần một người vận hành không biết mệt mỏi để mở và đóng các van khác nhau vài lần trong một phút. Leibniz đã viết cho Papin vào cuối năm 1707, khuyên ông nên tinh chỉnh thiết kế của mình để các van động cơ của ông “có thể mở và đóng lại bằng máy mà không cần con người thao tác.”^[4]

Song Papin đã không có cơ hội để tinh chỉnh thiết kế của mình. Ông đã quyết định trở về Anh vào năm 1706 sau khi đánh mất sự ủng hộ từ bá tước đồng thời là người bảo trợ của ông. Bản thiết kế thuyền bánh guồng chạy bằng hơi nước trình bày trước Hiệp hội Hoàng gia London là hi vọng được tài trợ của ông. Thật không may là quan hệ gần gũi Leibniz đã gây hại cho ông. Isaac Newton đã được bầu làm chủ tịch trọn đời của Hiệp hội Hoàng gia vào năm 1703. Cả Leibniz và Newton đều độc lập xây dựng hệ thống toán học mạnh mẽ được gọi là phép vi phân, khi Newton và những người ủng hộ ông đang đối đầu với Leibniz để chiếm ưu thế.

Papin đã trình mẫu tàu hơi nước của mình cho Hiệp hội Hoàng gia vào tháng 2 năm 1707. Ông đề nghị hội hỗ trợ xây dựng một bản mẫu nặng 80 tấn, ước tính sẽ tốn 400 bảng (ngày nay là 57.000 bảng, tương đương 84.000 đô-la).^[5] Nhưng một khoản tiền lớn như vậy đâu sẵn có, chưa kể hiệp hội dưới thời Newton cũng không muốn thuê lại Papin làm người phụ trách thí nghiệm. Thay vào đó, họ đề nghị trả tiền cho ông cho bất kỳ cuộc trình diễn thí nghiệm nào mà ông đưa ra, với điều kiện phải trình ý tưởng của mình ra trước để phê duyệt. Năm 1708, ban lãnh đạo hội đã đưa các thiết kế máy hơi nước của ông cho Savery, đối thủ cạnh tranh chính của ông, để đánh giá. Không có gì đáng ngạc nhiên, Savery chê bai thiết kế của Papin. Nếu Papin từng bác bỏ tính ứng dụng cực kỳ thiếu hiệu quả của Savery trong việc dùng hơi nước để thoát nhiệt để bơm nước lạnh thì Savery lại chỉ trích xi-lanh và piston của Papin, tuyên bố chúng sẽ không hoạt động “vì ma sát sẽ quá lớn.”^[6]

Trong bốn năm tiếp theo, Denis Papin đã tuyệt vọng đề nghị được thử nghiệm nhiều phát minh khác nhau - bao gồm một lò nung tiết kiệm nhiên liệu; một phương pháp thanh lọc và sưởi ấm không khí trong phòng - nhưng không nhận được bất kỳ sự quan tâm hay ủng hộ nào từ Hiệp hội Hoàng gia. Sa cơ thất thế ở London thời kỳ Stuart, ông đã biến mất khỏi lịch sử vào năm 1712.^[7]



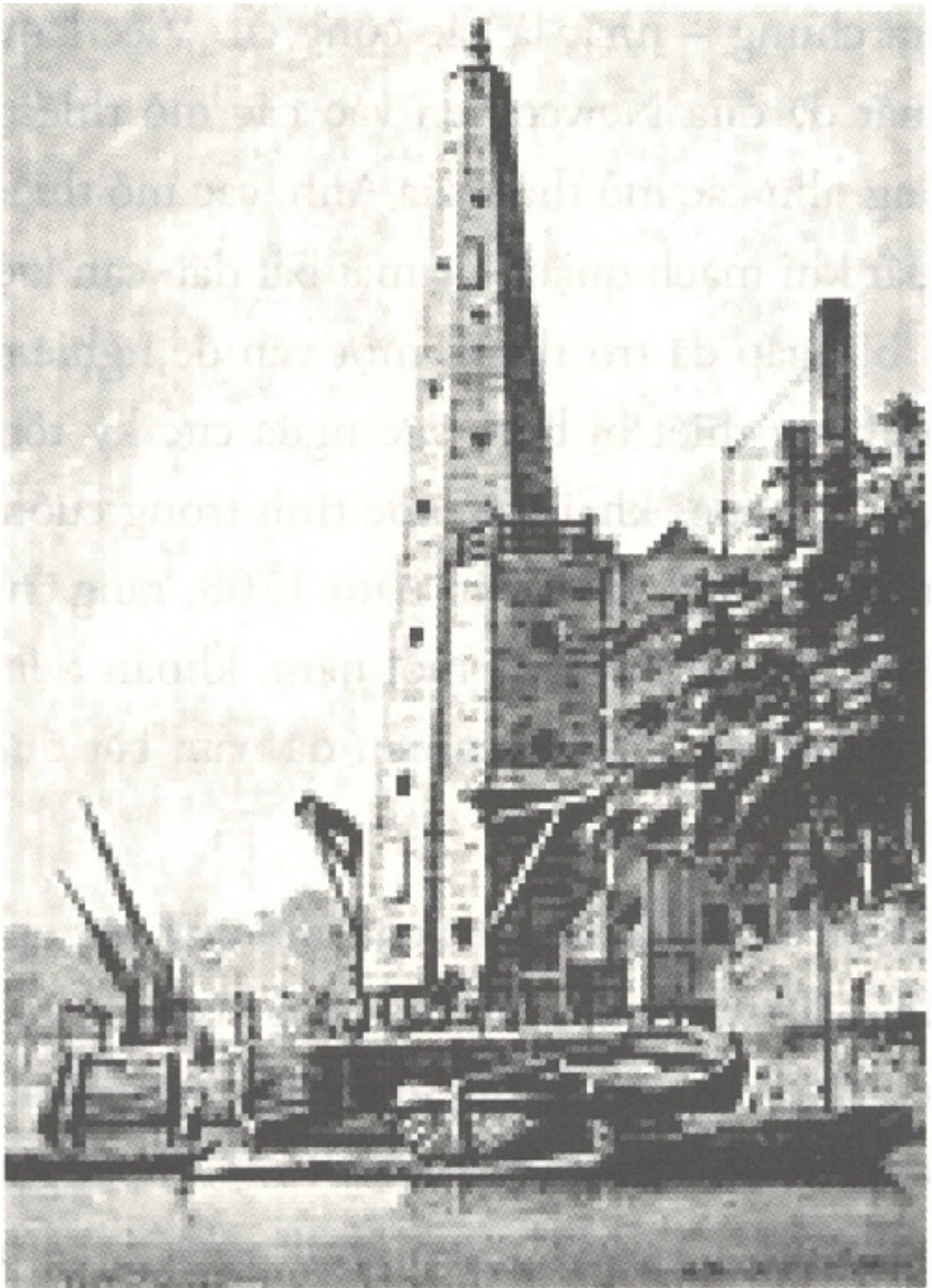
Người bạn của thợ mỏ

Thomas Savery thì ít nhiều có thành tựu hơn một chút. “Một động cơ Savery tỉ lệ nhỏ có thể được chế tạo để hoạt động hiệu quả,” sử gia công nghệ Richard L. Hills đã ghi nhận như vậy. “Không còn nghi ngờ gì nữa, khi Savery trình bày các mẫu thiết kế của mình, ông ta đã khuấy động được rất nhiều thiện cảm cho dự án của mình.”^[8] Ngoài việc giới thiệu

mẫu, Savery còn xuất bản một cuốn sách quảng cáo mang tên *The Miner's Friend; or, An Engine to Raise Water by Fire* (Người bạn của thợ mỏ; hay một động cơ để dâng nước lên bằng lửa), được trang trí bằng các hình minh họa những người thợ tí hon.^[9]

Thế nhưng động cơ Savery được chế tạo càng lớn thì nó càng hoạt động kém hiệu quả. Nó hoạt động đúng như một động cơ khí quyển, tạo ra một vùng chân không cục bộ bằng cách đổ nước lạnh lên một xi-lanh chứa hơi nước để hút nước lên khoảng 6 mét qua một đường ống. Chính vì không có van an toàn, nó chỉ có thể bơm nước cao hơn một chút bằng lực đẩy từ hơi nước trực tiếp mà không có nguy cơ làm nổ n ồi hơi. “Hơi nước khi quá mạnh sẽ xé vụn tất cả,” một người quan sát đã báo cáo lại.^[10] Động cơ của Savery được dùng làm máy bơm nước cho tháp nước Tòa nhà York dọc theo sông Thames ở London và một dinh thự hoàng gia ở Kensington, Cung điện Nữ vương Anne.^[11]

Galloway kết luận rằng “Savery đã đánh giá quá cao khả năng của động cơ của mình và coi thường những hạn chế trong việc sử dụng nó. Ông đã làm ra vài động cơ mang nước rất tốt cho ghế của các quý ông; nhưng khi rút nước trong mỏ thì động cơ này đã thất bại hoàn toàn.”^[12] Để thoát hết nước cho một mỏ sâu hay mỏ ngập thì sẽ cần từ năm đến mười động cơ Savery, bố trí nối nhau cứ 9 mét một máy, cái này nằm trên cái kia. Thêm vào đó động cơ này cực kỳ tốn than, mười động cơ như vậy hoạt động cùng lúc sẽ tiêu thụ phần lớn than được khai thác chưa kể đến việc cạn kiệt sức phu mỏ để vận hành chúng. Bản thân chủ mỏ cũng không muốn đưa động cơ dùng lửa vào trong mỏ bởi nguy cơ kích nổ khí mê-tan lưu cữu. Sau năm 1705, chỉ bán được hai chiếc, Savery đã từ bỏ việc bán động cơ cho các mỏ cần thoát nước.^[13] Ông vẫn tiếp tục sản xuất chúng cho các công trình nước của thành phố và dinh thự.



Tháp nước của khu nhà York

Khi các công nghệ mới chùn bước thì việc quay trở lại với các hệ thống trước đáng tin cậy hơn đôi khi sẽ tạo chuyển biến tích cực, kết hợp cái cũ với cái mới. Động cơ hơi nước đời trước thành công về mặt thương mại để thoát nước mỏ đã đạt được điều đó bằng cách tránh những thiết kế quá tham vọng như của Papin và Savery. Nếu kỹ nghệ thủ công đương thời không đủ để tạo ra nồi hơi có khả năng chứa hơi nước áp suất cao thì một phần câu trả lời cho việc dâng nước lên bằng lửa đó là chỉ sử dụng hơi nước ở mức áp suất không khí, ngưng tụ nó lại để tạo ra chân không cục bộ cho động cơ khí quyển. Thomas Newcomen, một thợ rèn sắt ở Devonshire, đã theo đuổi con đường đó bắt đầu từ khoảng năm 1700.

Thợ rèn sắt trong thời đại đó không chỉ bán đồ ngũ kim mà còn trực tiếp làm ra chúng - nhất là các công cụ. Việc làm ra và bán các công cụ sản xuất đã đưa Newcomen vào các mỏ thiếc của Devon và Cornwall. Giống như các mỏ than của Anh, các mỏ thiếc được đào sâu hơn vào lòng đất khi mạch quặng bề mặt bắt đầu cạn kiệt. Vào đầu thế kỷ 18, các mỏ bị ngập đã trở thành một vấn đề nghiêm trọng và việc làm khô chúng bằng thiết bị bơm sức ngựa cực kỳ tốn kém. Tác giả ẩn danh F. C., một người khai mỏ, ước tính trong cuốn *The Compleat Collier* (Thợ mỏ toàn tập), xuất bản năm 1708, rằng “những mỏ than khô sẽ tiết kiệm hàng nghìn bảng mỗi năm, khoản tiền sẽ được dùng để thoát nước quanh đó.”^[14] Newcomen đã nắm bắt được một cơ hội sinh lời.

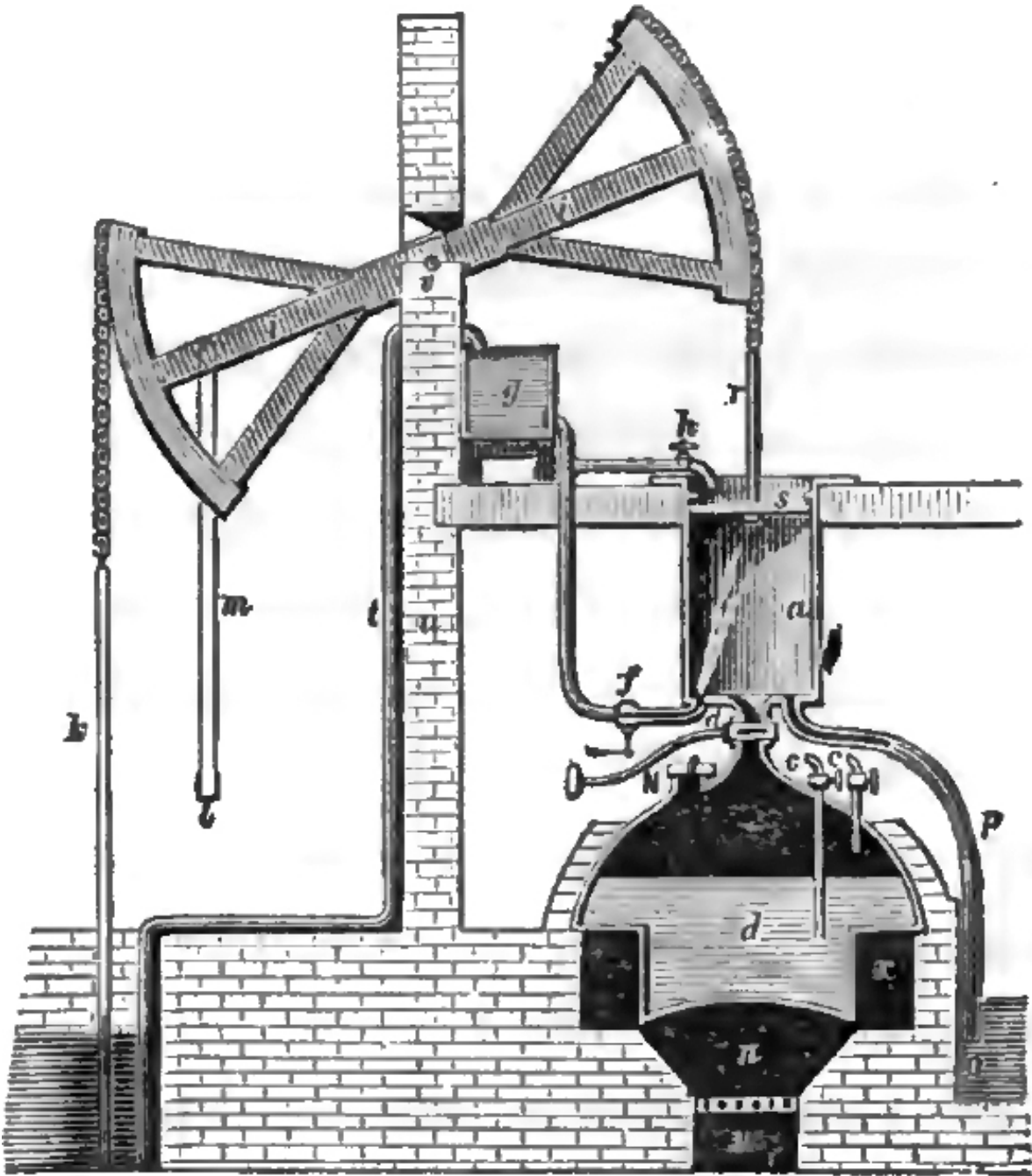
Thomas Newcomen là hậu duệ của giới quý tộc nghèo ở tây nam nước Anh, sinh ở Dartmouth vào đầu năm 1663 và có lẽ đã học việc với một thợ rèn sắt ở Exeter để học nghề và buôn bán. Ông đã hoàn thành việc học nghề và trở lại Dartmouth vào khoảng năm 1685, khi ông hai mươi hai tuổi, và đã tự mình khởi nghiệp. Là một tín đồ Tin Lành Baptist sùng đạo, Newcomen kết hôn muộn lúc bốn mươi một tuổi. Năm 1707, ông thuê một ngôi nhà lớn ở Dartmouth cho gia đình mình, nơi hội thánh Baptist mà ông đứng đầu cũng dùng làm nơi hành đạo. Một thành viên Baptist, John Calley, đã hợp tác với ông vào một thời điểm trước đó và cùng chia sẻ công việc sáng chế.^[15]

Không có nhiều thông tin về cách Newcomen phát triển động cơ mang tên mình, thậm chí là việc ông có biết đến những phát minh của Papin và Savery hay không. Nhân chứng đáng tin cậy nhất của ông là một kỹ sư

người Thụy Điển tên Marten Triewald, người sáng lập Viện hàn lâm Khoa học Hoàng gia Thụy Điển, làm việc ở Anh từ năm 1716 đến năm 1726. Triewald đã giúp chế tạo động cơ Newcomen ở đó, chế tạo một chiếc khác ở Thụy Điển sau khi ông trở về, và có quen biết trực tiếp với Newcomen. [16] Ông viết vào năm 1734 rằng người thợ rèn người Anh này đã phát minh ra động cơ của mình mà không hay biết bất kỳ suy tính nào của Thụy ễn trưởng Savery.” Thay vào đó, Triewald lập luận rằng Newcomen đã nhìn thấy cơ hội trong giá thành đắt đỏ của việc dâng nước nước bằng sức ngựa.” [17] Có thể là như vậy, nhưng không chắc là Newcomen đã thực hiện một dự án sẽ chiếm hơn mười năm cuộc đời của ông mà không biết gì về những nỗ lực trước đó trong việc tận dụng lửa để thoát nước mỏ. Còn ai ngoài một kẻ ngốc mới đi phát minh lại cái bánh xe?

Động cơ mới của Newcomen đã vay mượn các tính năng tốt nhất từ thế hệ đời trước và kết hợp với các tính năng mới của chính nó. Nó mượn xi-lanh và piston của Huygens nhưng đã theo ý tưởng của Papin là thay thế thuốc súng bằng hơi nước. Nó mượn từ Savery ý tưởng ngưng tụ hơi nước để tạo chân không. Tuy nhiên, động cơ Newcomen không giống như của Papin hay Savery ở chỗ nó đun nóng nước thành hơi trong một nồi hơi lớn riêng biệt, sau đó dẫn hơi nước qua một van có nắp đến một xi-lanh có đầu mở đặt ở trên cao. Thay vì sử dụng áp suất hơi để đẩy piston lên như thiết kế của Papin, Newcomen đã treo piston này trên một tay đòn lớn bằng gỗ dùng để cân bằng trọng lượng của tay đòn có thể kéo piston lên để mở xi-lanh giữa các chu kỳ. Newcomen ban đầu bọc xi-lanh bằng một lớp chì mà nước lạnh đổ vào trong đó có thể làm ngưng tụ hơi nước và tạo vùng chân không cho phép áp suất khí quyển đẩy piston xuống, kéo tay đòn xuống cùng với nó.

Không có gì phải nghi ngờ, động cơ mới của Newcomen đã hoàn thiện hơn các thiết kế đời trước. Piston tách hơi nước khỏi phần nước mà nó nâng lên, làm giảm thể tích hơi cần thiết, từ đó tiết kiệm than. Làm mát bên ngoài của xi-lanh bằng cách đổ nước lạnh vào giúp ngưng tụ hơi nước nhanh hơn và cho phép động cơ bơm nhanh hơn. Vì hơi nước chỉ được sử dụng để tạo chân không nên hệ thống có thể hoạt động ở áp suất khí quyển. Và bởi năng suất của động cơ khí quyển phụ thuộc vào việc tăng diện tích vận hành của các piston, hệ thống piston và xi-lanh có thể được chế tạo lớn hơn hoặc nhỏ hơn để phù hợp với tải trọng dự kiến. [18]



Nồi hơi d, xi-lanh a, piston, tay đòn V, thanh bơm l

Mọi thứ có vẻ ổn. Nhưng việc đổ nước lên xi-lanh để làm mát từ bên ngoài vẫn tương đối chậm, làm hạn chế công suất đầu ra. Thiết kế ban đầu của Newcomen kém hiệu quả hơn nhiều so với tiềm năng của nó, mặc dù đã vượt động cơ của Savery.

Một bước đột phá quyết định đã đến một cách tình cờ khi Newcomen vẫn đang làm việc với các mô hình và chưa chế tạo một động cơ có kích

thước chuẩn. Theo Triewald, đó là nhờ một “phần khuyết” của xi-lanh bằng đồng thau - một lỗ hồng được hàn lại - đã mở đường, và nước lạnh đổ tí bên ngoài “đã xộc thẳng vào xi-lanh và ngay lập tức ngưng tụ hơi nước, tạo ra một khoảng chân không cực mạnh... không khí... bị nén với sức mạnh cực lớn lên piston, đã bẻ gãy xi-lanh xích và piston đã nghiền nát cả đáy xi-lanh cũng như nắp nĩa hơi nhỏ. Nước nóng chảy khắp nơi đã thuyết phục... những người quan sát rằng họ đã phát hiện ra một năng lượng mạnh mẽ vô song mà cho đến nay bản chất của nó hoàn toàn chưa được khám phá - hay ít nhất là không ai có thể lường tượng nó có thể hình thành theo cách này.”^[19]

Phát hiện tình cờ về việc bơm nước lạnh này là chìa khóa thành công của động cơ Newcomen. Nhà phát minh này đã phải thêm một bể chứa nước lạnh vào thiết kế của mình (chi tiết g trong bản vẽ ở trang trước, dưới tay đòn, từ đó nước lạnh được phun vào bên trong xi-lanh từ một ống có tên f).⁽⁴⁾ Bằng việc truyền nước lạnh, một động cơ Newcomen có thể quay vòng khoảng 12 lần một phút, bơm nước lên từ cả trăm mét bên dưới. Dorothy Wordsworth, em gái của nhà thơ William Wordsworth, đã quan sát một động cơ Newcomen bơm chậm hơn nữa trong chuyến đi Scotland cùng anh trai và anh bạn Samuel Taylor Coleridge vào năm 1803:

Khi chúng tôi đến gần hơn, chúng tôi thấy, đi ra từ bên cạnh tòa nhà, một cỗ máy hoặc đòn bẩy lớn, trông giống như một cây búa lò rèn vĩ đại, chúng tôi đoán là để hút nước ra khỏi mỏ. Cứ nửa phút nó được nâng lên một lần thật chậm rãi, và dường như nghỉ ngơi để lấy hơi ở cuối chu kỳ, chuyển động của nó đi kèm với một âm thanh giống tiếng rên rỉ và tiếng kim loại nghiêng vào nhau. Có lẽ có một thứ gì đó rất phi thường trong vật thể này, bởi truyền cho cỗ máy này trí thông minh là điều không tưởng; nó dường như đã có bước đi đầu tiên từ vật chất lạnh lẽo để đến với đời sống và mục đích cao cả, phô trương sự tiến bộ của nó bằng sức mạnh phi thường. William đã nhận xét như vậy và Coleridge cho rằng cỗ máy như một người khổng lồ mang tư tưởng.^[20]

Newcomen cũng phải nghĩ ra một hệ thống đòn bẩy và van để làm cho động cơ của ông có thể vận hành tự động thay vì bằng tay như của Savery. Mặc dù thiết kế này sẽ bị liệt vào hàng thô thiển theo tiêu chuẩn hiện đại, đòi hỏi phải được điều chỉnh thường xuyên thì chúng vẫn hoạt động trơn

tru. Với than giá rẻ ở trước h ần, động cơ Newcomen đã bơm nước cho các mỏ than của Anh trong hơn hai trăm năm.

Thật không may cho Newcomen, mô tả của Thomas Savery trong bằng sáng chế năm 1698 rộng đến nỗi nó bao trùm tất cả các động cơ nâng nước bằng lửa, và Quốc hội Anh năm 1699 đã gia hạn cho bằng sáng chế của Savery thêm 21 năm sau khi hết 14 năm ban đầu, tức là đến năm 1733. Không còn lựa chọn khác, Newcomen đã hợp tác với Savery, một thỏa thuận vẫn tiếp tục sau khi Savery qua đời vào năm 1715 thông qua một công ty cổ phần được thành lập để khai thác bằng sáng chế của Savery, những chủ sở hữu của phát minh nâng nước lên bằng lửa.^[21] Những chủ sở hữu này đã phát hành 80 cổ phần, trong đó Newcomen được trao 20 cổ phần.

Newcomen đã chế tạo động cơ thương mại hoàn chỉnh đầu tiên trong khuôn viên Lâu đài Dudley, gần Birmingham, vào năm 1712. Xi-lanh động cơ này được đúc đồng thau, có đường kính 53 cm và dài gần hai mét rưỡi; nó đã nâng nước lên từ bên trong một mỏ than ở độ sâu 46 mét, và vì nó được xây dựng phía trên mỏ, ở trên mặt đất, nó không tạo ra nguy cơ cháy nổ.^[22] Các động cơ Newcomen được đóng khắp nước Anh. Trong đó một động cơ khổng lồ có xi-lanh dài đến 1,1 mét đã được xây dựng tại Cornwall vào năm 1720, nó hút nước từ độ sâu 110 mét.^[23]

Nếu việc hút nước mỏ bằng sức ngựa có giá không dưới 900 bảng mỗi năm thì một động cơ Newcomen đã làm công việc tương tự với chi phí hằng năm chỉ 150 bảng, bằng một phần sáu.^[24] Tuy nhiên, chỉ hiệu quả hơn một chút so với động cơ của Savery và có kích cỡ bằng cả một ngôi nhà, động cơ Newcomen là một công nghệ chuyển tiếp, công dụng hầu như chỉ giới hạn trong việc bơm nước từ các mỏ. Những người đương thời đã nhận định rằng “phải mất một mỏ sắt để xây dựng một động cơ Newcomen và một mỏ than để duy trì hoạt động của nó.”^[25]

Bất chấp những hạn chế của họ, Newcomen đã đem lại sức sống mới cho ngành công nghiệp khai mỏ ở miền Bắc và miền Trung nước Anh.^[26] Trong khoảng thời gian từ năm 1710 đến năm 1733 khi bằng sáng chế hết hạn, ngay lập tức đã có 104 động cơ Newcomen được chế tạo ở Anh và nước ngoài.^[27] Nhiều động cơ hơn nữa tiếp bước ra đời - 550 hoặc hơn tính đến năm 1800 - nhưng ứng dụng của nó trong ngành than vẫn còn hạn

chế.^[28] Chưa ai nghĩ ra một quy trình luyện sắt chất lượng cao bằng than; thị trường chính của than vẫn là để sưởi ấm gia dụng. Khi thị trường đó ảm đạm thì giá than cũng lao dốc. Galloway đã viết về thời kỳ đầu của ngành than như sau: “giữa các đường hầm dài, các hầm mỏ ướt lạnh và sự độc quyền của chủ thầu.”⁽⁵⁾ Chưa kể đến phương pháp vận chuyển than thô sơ cả dưới lòng đất và trên mặt đất rất thịnh hành, mỏ khai thác càng nhỏ thì tình hình càng tệ hại hơn.”^[29] Động cơ Newcomen đã làm giảm đi các đường hầm dài và hầm mỏ ướt, nhưng việc dùng than để giải phóng sức lao động và tạo ra phương tiện vận chuyển hiệu quả hơn vẫn có vẻ xa vời.

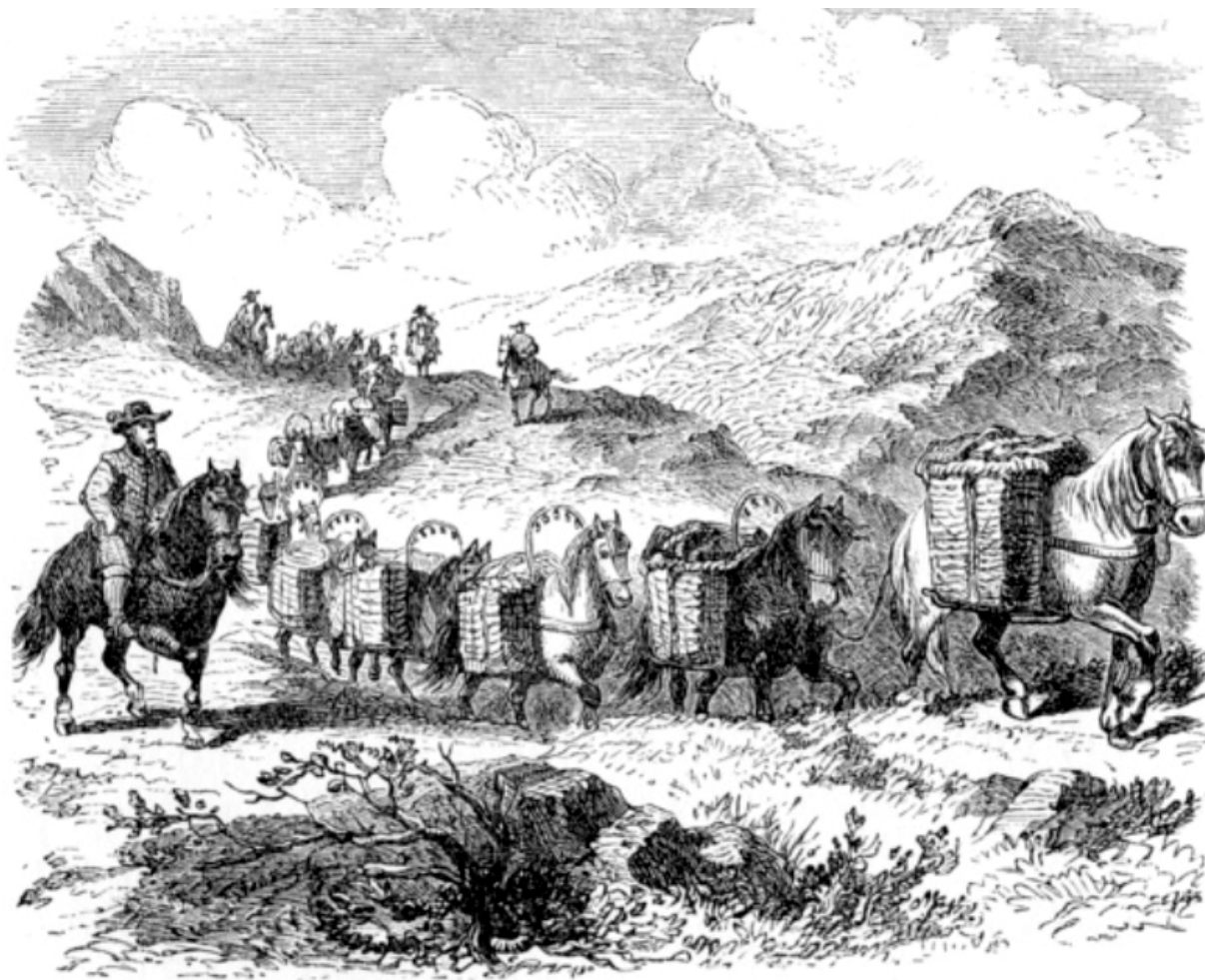
Những con đường ở Anh thời đó thật tồi tệ. Nhà Vua yêu cầu các chủ đất phải bảo trì đường sá địa phương bằng tiền túi của họ, đây là một trong ba nghĩa vụ cổ xưa - bao gồm sửa sang cầu đường, xây dựng và bảo trì công trình quân sự, cuối cùng là cung cấp lực lượng quân đội địa phương - chính là để bảo vệ cho vương quốc.^[30] Đường giao thông và thương mại thông thường hoàn toàn bị bỏ quên. Nhà sử học Sidney và Beatrice Webb đã ghi nhận rằng “vào mùa đông, việc xe có bánh không thể vượt qua những con đường này là điều thường được chấp nhận.” Chúng chẳng khác gì đường mòn cho đến giữa thế kỷ 18, khi có thể đi bộ hoặc đi ngựa trong bùn đen mùa hè và vũng lầy mùa đông. “Không thuê được xe ngựa ở bất cứ đâu trừ London,” một lữ khách kiêm tác giả đầu thế kỷ 17 đã cảm thán, “và mặc dù nước Anh phần lớn là đồng bằng, hoặc gồm những ngọn đồi nhỏ bình yên thì đường sá ở xa London bẩn thỉu đến mức mã phu thường không nhận đi những hành trình dài.”^[31]

Webbs tiếp tục viết rằng phần lớn lượng giao thông đường bộ mùa đông và mùa hè là gia súc: 100.000 đầu gia súc và ba phần tư triệu con cừu hàng năm được vận chuyển đến Smithfield để vỗ béo, phần lớn trong số chúng sẽ được giết mổ ở London, cùng lũ lũ đàn vịt, ngỗng và gà tây, rồi vô số lợn. Một tác giả đã viết vào năm 1748 rằng “để có thêm nguồn cung cho thị trường London, người dân đã nhận thấy lừa ngỗng trên đường bộ là khả thi, các đàn gia cầm khổng lồ đã được đưa đến London từ những nơi xa xôi hẻo lánh nhất của Norfolk.” Các đàn này rất lớn: một hoặc hai nghìn con gia cầm được lừa đi cùng nhau trong một mớ hỗn tạp huyền ảo. “Người ta thường lừa chúng đi vào tháng 8 khi vụ thu hoạch gần kết thúc để ngỗng có thể kiếm ăn từ gốc rạ dọc đường. Rồi họ sẽ đi đến cuối tháng 10, lúc này các con đường bắt đầu trở nên đặc quánh” - nhão nhoét, sền sệt

- “và ngập s ầu khiến những bàn chân rộng và đôi chân ngắn của ngỗng không thể đi qua đó.”^[32] Vật nuôi di chuyển số lượng lớn sẽ gây cản trở việc nâng cấp đường sá; nông dân thì muốn đất đường mềm cho đàn chăn nuôi của họ, bởi mặt đường cứng có thể làm què chúng.

Than được luân chuyển cục bộ bằng xe ngựa hoặc sọt trên lưng ngựa, nhưng được vận chuyển bằng đường sông và dọc bờ biển đến London. Với việc các chủ mỏ đang tìm cách để bổ sung ngu ần than và rút nước khỏi các mỏ bị ngập, sản lượng than cũng tăng theo tương ứng. Các mỏ nằm cạnh sông d ần cạn kiệt, h ần khai thác mới do đó phải được mở sâu vào đất li ền. Hai vấn đề mới tiếp tục nảy sinh: thương lượng phí mượn đường với địa chủ để đi ngang qua đất của họ ở các vùng nông thôn với hệ thống đường công cộng thô sơ và ít ỏi; thứ hai là vấn đề di chuyển than từ cửa h ần ra bờ sông.

Phí mượn đường tính thì dễ nhưng thường tốn kém. Francis North, Đại Chương Ấn của Vua Charles II, thấy phí mượn đường qua Newcastle là rất “đáng kể.” Em trai của ông h ể tưởng: “Nếu người ta có đất nằm giữa mỏ và sông, họ sẽ bán quyền đưa than qua đất của họ và chủ sở hữu của một rood đất đó sẽ được trả 20 bảng mỗi năm cho quyền mượn đường đó.”^[33]



Một đoàn xe ngựa trên đường ở Anh vào thế kỷ 18

Một rood, đơn vị đo cổ của Anh, bằng khoảng một nghìn mét vuông, hoặc khoảng một phần năm của sân bóng bầu dục Mỹ; vào giữa thế kỷ 17, 20 bằng tương đương với khoảng 2.500 bằng ngày nay, hay 3.700 đô-la. Một rood có chiều dài mỗi cạnh là 104 feet; với 51 rood trải trên một dặm, phí mượn đường có thể quá đắt đỏ. Một nhân chứng đã làm chứng trước Quốc hội Anh vào cuối năm 1738 như sau: “Có 50 đến 60 mỏ không được thuê quanh Newcastle, một phần do ngập úng [nhưng một phần do] phí mượn đường quá đắt đỏ.”^[34]

Nếu có thể đàm phán phí mượn đường thì vấn đề vận tải là thách thức tiếp theo. Chi phí trung bình cho mỗi tải hàng bằng qua những khu phải mượn đường sẽ giảm theo khối lượng. Ban đầu ngựa thồ và xe ngựa hoặc xe bò được sử dụng; đến năm 1696, ước tính có 20.000 xe ngựa tham gia chuyển than cho chỉ riêng các mỏ ở khu vực sông Tyne và sông Wear.^[35]

Nhưng khi sản lượng than tăng lên, các toa xe goòng đã thay thế chúng. Trong nửa sau của thế kỷ 17, chỉ riêng các mỏ của Durham và Northumberland đã sản xuất 1,2 triệu tấn than mỗi năm, tổng trên toàn nước Anh là gần 3 triệu tấn; ngựa thồ và xe kéo giờ không đủ để khả năng vận chuyển số lượng lớn như vậy.^[36] (Để di chuyển ngần ấy than ngày nay cũng sẽ cần đến 260 tàu chở than 100 toa.) Bất chấp tình trạng đường sá, nước Anh giờ đã bắt đầu chuyển sang phương tiện vận tải có bánh vào đầu thế kỷ 17. Bốn vạn lái thuyền của sông Thames phục vụ cho London đã vô cùng phần nộ với sự cạnh tranh này; năm 1623, nhà thơ kiêm lái thuyền John Taylor đã lên án “thời đại mới của sự rầm rộ, huyên náo, ầm vang” khi “Thế giới này vận bằng những Bánh xe.”^[37]

Các mỏ lớn hơn có đường dẫn trực tiếp lên mặt đất từ lâu đã được lắp đặt đường ray gỗ để làm cho xe goòng chở than và quặng dễ dàng di chuyển hơn; vận chuyển một chiếc xe goòng trên đường ray chỉ cần khoảng một phần sáu lực để kéo một chiếc xe trượt hoặc xe goòng trên đường đất khó.^[38] Đường ray để vận chuyển than ra bến sông được đặt tên là đường ray xe toa, giúp tiết kiệm tiền bạc, thời gian, và chi phí khấu hao.



Xe goòng trên đường ray gỗ

Đường ray xe toa đầu tiên ở Anh có từ năm 1604. Huntingdon Beaumont, con trai của một hiệp sĩ và một doanh nhân ngành than sáng tạo, đã phát minh ra nó hoặc học hỏi nó từ đường ray xe goòng khai mỏ. Sir

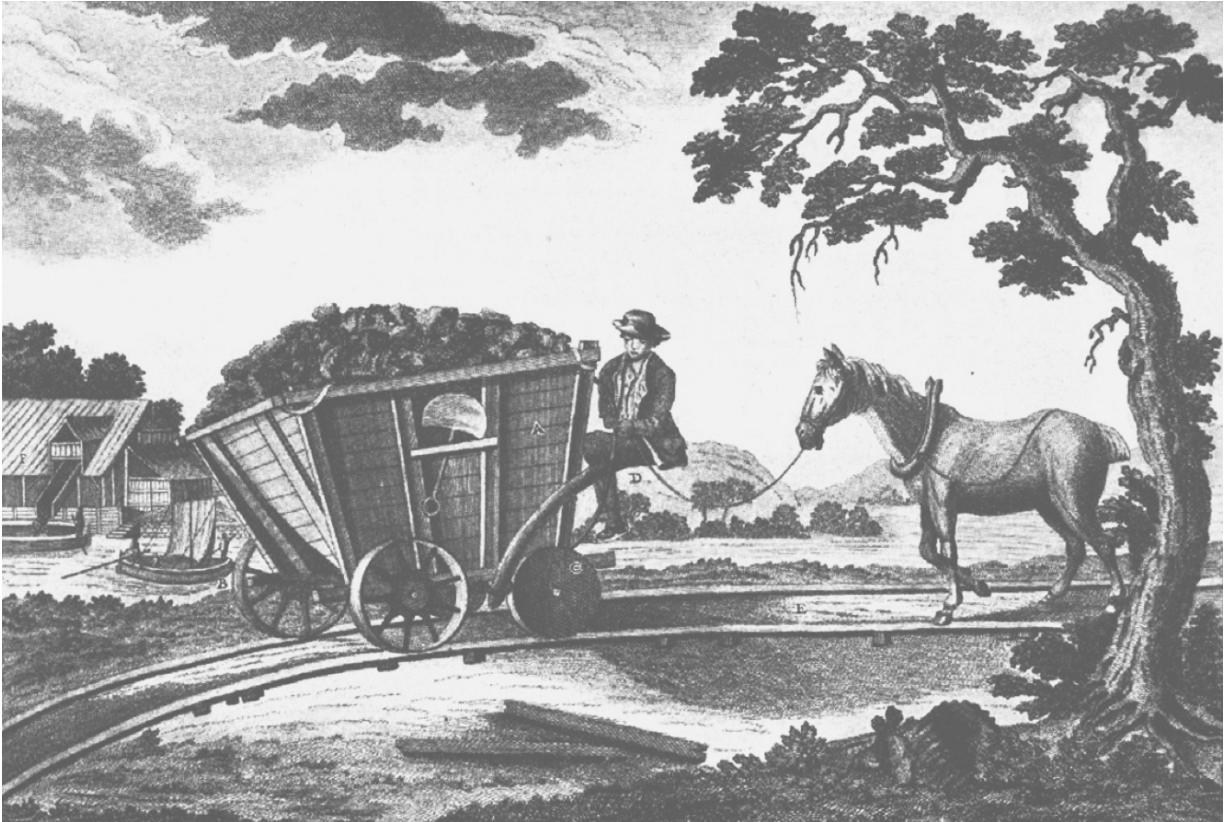
Percival Willoughby, Lãnh chúa của Dinh thự Wollaton ở Nottinghamshire, phía Đông Midlands, là đối tác kinh doanh của Beaumont trong lĩnh vực khai thác than mỏ. “Tin về những nỗ lực của Beaumont để chuyển than từ Strelley sang Wollaton Pits đã đến tai tôi,” Sir Percival viết năm 1603. “Phát minh mới của ông ấy sẽ chở than bằng xe ngựa kéo, có bánh xe nhỏ làm từ phiến gỗ sồi, chạy trên đường ray gỗ. Về nhà tôi đã được giác ngộ bởi cái nhìn sâu sắc và giải pháp khả dụng cho vấn đề trọng tải lớn; đường sá của chúng ta vẫn còn trong tình trạng chưa được xây dựng hoàn thiện.”^[39]

Trong một trăm năm tiếp theo, đường ray xe toa bằng gỗ nhân rộng khắp nước Anh. Sir Thomas Liddell lắp đặt một đường ray từ mỏ Ravensworth của ông đến sông Wear vào năm 1671, phần đầu tiên của một hệ thống vận tải rộng mở. Sir Humphrey Mackworth, một luật sư và nhà công nghiệp đời đầu, đã đặt hàng một đường ray vào khoảng sau năm 1704 để chuyển than và quặng đồng từ mỏ của ông ở Neath, xứ Wales, đến sông Neath. Đã có người dám thách thức các sáng tạo kỹ thuật của Sir Humphrey; một tài liệu pháp lý năm 1706 bảo vệ việc sử dụng đường ray xe toa với tuyên bố rằng chúng vốn đã được sử dụng rộng rãi: “Các đường ray cho xe goòng này rất phổ biến và thường được sử dụng ở Newcastle, Broseley, Bentall và những nơi khác, ở Shropshire, và khó lòng coi chúng là thứ Phiền toái, chúng luôn được coi là rất hữu ích để gìn giữ các con đường, thứ sẽ bị tàn phá thậm tệ nếu vận chuyển than bằng xe kéo và xe ngựa thông thường.”^[40] Sir Humphrey cũng tiên phong trong việc chế tạo xe kéo không dùng ngựa mà dùng cánh buồm: “Tôi tin rằng ông ấy là người đầu tiên trong lĩnh vực này trên thế giới đã xây dựng những động cơ sử dụng buồm trên đất liền, chạy bằng sức gió, không phải để thỏa trí tò mò mà là vì lợi nhuận khổng lồ từ nó,”^[41] trích lời của một cư dân địa phương.

Xe kéo tự hành để kéo than thậm chí còn rẻ hơn so với xe ngựa kéo. Daniel Defoe, một nhà báo năng suất kiêm tiểu thuyết gia, đã mô tả sự tiến bộ đó trong cuốn cẩm nang năm 1726 của mình *The Compleat English Tradesman* (Thương lái Anh toàn tập). “Sau đó [than] lại được chất vào một cỗ máy khổng lồ,” Defoe viết, gọi là Waggon, bằng phương tiện là đường nhân tạo, gọi là đường xe Waggon, với sự giúp sức của chỉ một chú ngựa, và mang theo hai đơn vị Chaldron [than] một lượt.”^[42] (Khối lượng

của một chaldron than, bằng 36 gia, đã được luật định vào năm 1678 ở mức bằng 5.880 pound.)

Bên dưới sông Tyne ở Hạt Durham, vùng đất dốc từ tây sang đông về phía biển và từ nam lên bắc về phía thung lũng Tyne. Trọng lực sẽ di chuyển một đoàn xe chở than ra bờ biển, với một con ngựa được dẫn theo để kéo toa xe rỗng lên dốc khi quay về. Bánh xe được gắn vành giúp giữ các toa xe không bị trật bánh để chúng tự chuyển hướng hiệu quả.



Toa xe than đi dốc xuống sông; lưu ý đòn phanh lớn. Ngựa sẽ kéo chiếc xe trở lên dốc để lấy than.

Galloway báo cáo rằng trên những con dốc dài hơn, một phần để phụ trợ có bánh nối với xe chở than giúp ngựa đi xuống dốc, “lúc này để phụ trợ sẽ chở ngựa” - ngựa ở phía sau xe. Ngựa thích nghi nhanh chóng với hệ thống này và dường như rất thích chuyển đi không tốn sức.^[43]

Nhưng không phải địa hình nào cũng dốc thuận tiện về phía con sông gần nhất. Đến năm 1725, gia tộc Liddell đã chi hàng nghìn bảng để cải thiện đường ray. William Stukeley, một nhà khảo cổ học và là thành viên của Hiệp hội Hoàng gia về sau đã viết một nghiên cứu về Stonehenge, đã

đến quan sát các sáng chế năm đó của Liddell và kiểm tra các cải tiến của đường ray xe toa:

Chúng tôi đã quan sát các công trình cho ngành than của Đại tá Lyddal ở Tanfield, ngài ấy xây đường qua các thung lũng được [ngài ấy] lấp đầy đất, cao 100 feet, rộng 300 feet ở đáy; các thung lũng khác cùng diện tích được bắc một cây cầu đá ngang qua, và ở những nơi khác, người ta đào xuyên qua đồi, nối thông nhau bằng nửa dặm đường hầm; và theo cách này một con đường được mở và đặt các sườn gỗ, dài năm dặm về phía bờ sông, nơi than được chuyển giao khoảng 5 chaldron.^[44]

Đường ray gỗ sẽ hỏng sau một hoặc hai năm chịu tải nặng như vậy và phải được thay thế. Một cách ngẫu nhiên, một công nghệ khác được phát triển trong cùng một thập niên trở thành câu trả lời cho vấn đề đường ray: luyện sắt bằng than.

Sắt từ lâu đã được luyện từ quặng và được tinh chế bằng than gỗ thay vì dùng than khoáng - than mỡ - vì lưu huỳnh trong than làm giòn sắt. Nhưng việc liên tục khan hiếm gỗ đã bắt đầu hạn chế đà phát triển của nền công nghiệp Anh. Đồng thời, thị trường đang bị thừa than vì việc sử dụng than công nghiệp bị hạn chế trong các hoạt động đun sôi như tách muối và nhuộm vải. Khi nền công nghiệp Anh mở rộng quy mô thì việc thiếu gỗ trên toàn nước Anh để đáp ứng nhu cầu về sắt là chuyện tất yếu.^[45] Việc giải bài toán luyện sắt bằng than đã thách thức các nhà phát minh và doanh nhân người Anh suốt một thế kỷ.

Một doanh nhân siêng năng thuộc Hiệp hội Giáo hữu Quaker tên là Abraham Darby, một người con trai nhà nông dân sinh ra ở một ngôi làng gần Dudley, đã tìm ra bước đột phá được mong chờ này. Darby đã học việc từ một nhà sản xuất mạch nha trước khi khởi nghiệp tại Bristol vào năm 1700. (Mạch nha là một thành phần quan trọng trong sản xuất bia, được tạo ra bằng cách ngâm lúa mạch trong nước cho đến khi nó nảy mầm, kích hoạt các enzyme biến đổi tinh bột của hạt thành đường. Để làm gián đoạn quá trình này, hạt nảy mầm sau đó được sấy khô và kết quả là mạch nha được nghiền thành bột để trộn với hạt chưa lên men để lên men.) Năm 1702, Darby cũng thành lập một xưởng đồng ở Bristol, nơi ông đã tiên phong luyện đồng thau bằng than. Cùng khoảng thời gian đó, ông mở một

xưởng đúc ngay cạnh để đúc chậu sắt với cát, một thành tựu công nghệ đem lại cho ông bằng sáng chế vào năm 1707.^[46]

Năm 1709, Darby di dời xưởng đúc của mình đến Coalbrookdale, một ngôi làng dọc sông Severn, khoảng 130 km phía bắc của Bristol, gần Dudley. Ở đó ông bắt đầu phát triển một phương pháp đi đầu chế than để luyện sắt bằng cách nung nó trong lò dưới đi đầu kiện oxy thấp để loại bỏ lưu huỳnh và các tạp chất khác có thể làm giòn sắt. Con dâu góa chồng của ông, Abiah Darby, đã viết về phát minh này sau đó, so sánh công đoạn đó với quy trình sấy mạch nha.^[47]

Khi dần làm chủ được công nghệ, Darby và con cháu của ông dần thay thế than củi bằng than cốc. Sắt nung chảy bằng than cốc cho phép nền công nghiệp Anh vượt qua nút thắt của sự khan hiếm gỗ, Abiah Darby viết vào năm 1763: “Nếu không có những khám phá này, ngành buôn bán sắt... đã biến mất, vì gỗ để làm than trở nên rất khan hiếm, và các quý ông có đất [những người sở hữu rừng] đã tăng giá gỗ lên quá cao - thực ra nó không đáng giá như vậy. Nhưng từ khi than mỏ được đưa vào thay thế, nhu cầu về than gỗ giảm đi rất nhiều và trong một vài năm nữa, tôi sẽ bắt đầu bỏ hẳn truyền thống đó.”^[48] Đến đầu thế kỷ 19, sắt đã thay thế phần lớn gỗ trong sản xuất và xây dựng.^[49]

Công ty Coalbrookdale đã đúc những bánh xe đường ray bằng sắt đầu tiên vào năm 1729.^[50] Những bánh xe sắt này lại gây hư hại cho đường ray thậm chí còn tệ hơn cả bánh xe gỗ. Các tấm gang đúc ra đời ngay tiếp đó, rộng 5 cm và dày 1,3 cm, đóng đinh vào các thanh ray gỗ để bảo vệ chúng.^[51] Tiếp đến là các thanh ray bằng gang, sau trở thành sản phẩm chủ đạo của Coalbrookdale.^[52] Gallayay đã nhận xét: “Những đường [ray] dài hiện đang được được xây dựng rất cẩn thận với chi phí rất lớn, cho các hầm mỏ ở rất xa sông.”^[53]

Trong khi đó, Công ty Coalbrookdale đã bắt đầu đúc xi-lanh sắt cho động cơ Newcomen để thay thế các xi-lanh đồng đất tíên hơn của đời máy trước. Vào đầu những năm 1740, Coalbrookdale đã thay thế thiết bị bơm sức ngựa của mình bằng động cơ Newcomen, đây là lần đầu tiên một động cơ hơi nước được sử dụng để sản xuất sắt và chi phí giảm đi rất nhiều.^[54] Từ thời điểm đó, việc khai mỏ bứt phá nhanh chóng nhờ số lượng động cơ

hơi nước ngày càng tăng đã khôi phục các mỏ cũ trước đây bị ngập và giữ cho các mỏ mới khô ráo.^[55]

Động cơ Newcomen đã đáp ứng nhu cầu khai thác than, nhưng khi cách xa mỏ thì nhược điểm sẽ hạn chế tính hữu dụng của chúng. Động cơ này rất tốn than, hiệu suất thấp và cồng kềnh. Chúng chỉ có thể, như Galloway viết, “thực hiện quy trình bơm kéo đầy giản đơn.”^[56] Nếu than là nền móng của công nghiệp hóa đang tăng tốc của Anh, ai đó sẽ phải phát minh ra một động cơ tốt hơn.

04 SẢN XUẤT CHO CẢ THẾ GIỚI

James Watt, một người Scotland sinh gần Glasgow năm 1736, đã học cách chế tạo các dụng cụ toán học và hàng hải từ một nhà sản xuất thiết bị bậc thầy ở London khi ông mới hai mươi tuổi.^[1] Ông nội của Watt là giáo viên về toán học và hàng hải, cha ông là thợ đóng tàu và thương lái cho tàu, cậu của ông là giảng viên tiếng Latin tại Đại học Glasgow.^[2] Khóa đào tạo kéo dài mười hai tháng bao gồm các việc “tìm quy tắc toán học, tính tỉ lệ, tính góc phần tư...” như ông liệt kê trong một lá thư, tiêu tốn của cha ông 20 đồng guinea vàng (nay là 2.900 bảng, hoặc 4.200 đô-la).^[3] Một năm làm việc tại một xưởng ở London gần như không thể coi là học nghề, nhưng Watt đã làm việc cùng cha từ nhỏ và biết cách sử dụng dụng cụ kỹ thuật. Khi kết thúc khóa đào tạo, ông đã đánh giá rằng bản thân “có thể có mưu sinh ở bất cứ đâu vì bây giờ tôi có thể làm việc tốt như hầu hết các thợ thạo nghề dù tôi không nhanh nhẹn như nhiều người khác.”^[4]

Cơ hội kiếm cơm đầu tiên của ông ở Glasgow là vào tháng 10 năm 1756, khi một lô hàng dụng cụ thiên văn được gửi đến trường đại học⁽⁶⁾ từ Jamaica. Một thương gia người Jamaica giàu có từng tốt nghiệp Glasgow qua đời năm trước đã hiến tài sản cho trường. Mặc dù chúng đã bị gỉ sét do vận chuyển đường biển và cần sửa chữa, Nhà thiên văn Hoàng gia đã thốt lên rằng chúng xứng đáng với “Đài thiên văn của một Quân vương.”^[5] Họ chuẩn bị xây dựng một đài thiên văn mới ở Glasgow. Watt làm việc với họ qua đầu đông. Ông xong việc vào tháng 12 và nhận được thù lao là 5 bảng (ngày nay là 700 bảng, hoặc 1.000 đô-la).^[6] Ông dành sáu tháng tiếp theo tại nhà ở Greenock, khu vực hạ lưu từ Glasgow, tìm mua các công cụ và hàng hóa để chính thức trở thành một nhà sản xuất, thợ sửa chữa và người bán dụng cụ. Đến tháng 7 năm 1757, ông trở lại Glasgow và mở cửa hàng trong khuôn viên trường đại học. Dụng cụ phòng thí nghiệm và mô hình

minh họa không phải là các món hàng bán sẵn h ồi thế kỷ 18: chúng được sản xuất và bảo trì thủ công. Trường đại học cho phép Watt cư trú và bán hàng như một phần của gói dịch vụ lớn hơn. Họ gán cho ông chức danh là “nhà sản xuất dụng cụ toán học” và chi trả phí bảo trì cho ông.^[7]

Một sinh viên mới tốt nghiệp tên là John Robison đã ghé thăm cửa hàng của Watt trong trường đại học, và thấy bất ngờ trước kiến thức khoa học của ông chủ trẻ tuổi này. Robinson cho biết: “Lúc đầu, tôi ngấm nghĩa các dụng cụ tốt không biết chán, tò mò với mọi thứ, và trò chuyện với Ngài Watt đây. Tôi vốn chỉ coi anh ấy là một tay thợ không hơn, nhưng thật ngạc nhiên khi con người trạc tuổi tôi đó còn là một nhà khoa học; và luôn sẵn sàng chỉ dẫn cho tôi. Tôi đã tự cao cho rằng bản thân khá giỏi giang trong lĩnh vực yêu thích của mình và xấu hổ khi thấy anh Watt có t ầm hiểu biết trên tôi nhi ều bậc.” Dù vậy, họ đã trở thành bạn bè. “Tôi dành nhi ều thời gian thơ thẩn cùng anh ấy, và hiển nhiên là tôi thường xuyên quấy r ầy anh. Từ đó tình bạn của chúng tôi bắt đầu.”^[8]

Robison không phải là người ở Glasgow duy nhất kết thân với Watt. “Tất cả những người trẻ tuổi ở chốn học thuật bé nhỏ của chúng tôi, những người yêu thích khoa học theo cách nào đó,” Robison nói, “đều là người quen của Ngài Watt, và cửa hàng của anh là điểm hẹn cho những người này. Bất cứ khi nào ai trong chúng tôi gặp khó khăn, chúng tôi đều đến gặp Ngài Watt.”^[9] Dần dà, các giảng viên của khoa cũng vậy. Robison nhớ có lần bắt gặp giảng viên Joseph Black của Đại học Glasgow tại nhà Watt. “Tiến sĩ Black thường ghé thăm và đứng quay lưng về phía chúng tôi, say sưa ngắm nghĩa thước đo góc của Bird, khẽ huýt sáo một mình theo cung cách khiến tôi xúc động đến tận đáy lòng.”^[10] Thước đo góc của Bird là một dụng cụ thiên văn hình góc phần tư bằng đồng dài 2,4 mét được treo trên tường; John Bird là một nhà sản xuất dụng cụ toán học làm việc tại London. Ông đã chế tạo ra thước đo góc đầu tiên cho Đài thiên văn Hoàng gia tại Greenwich năm 1753.

Robison lấy bằng thạc sĩ tại Glasgow vào năm 1756 và sau đó thử sức với việc phát minh. Nhờ Robison mà Watt mới chuyển hướng chú ý sang động cơ Newcomen, “tôi lúc đó chẳng biết gì về cỗ máy này, và đề nghị rằng nó có thể được áp dụng để tạo chuyển động cho các toa hàng gắn bánh xe, và nếu thế sẽ thuận tiện nhất khi đặt xi-lanh với đầu mở hướng xuống dưới, để khỏi phải dùng tay đòn. Watt rõ ràng đã hợp tác với Robison trong

nỗ lực ban đầu này để loại bỏ tay đòn kích thước bằng thân cây trên đỉnh động cơ Newcomen, giải phóng nó để chuyển động. Ông tái lập việc chế tạo một mô hình động cơ của Robison từ tám thiếc với hai xi-lanh ngược có thể quay trục để bánh xe xoay theo. Mô hình động cơ được chế tạo với vàng này làm việc rất kém. Cả hai đều không có thời gian để cải thiện nó, họ cũng thiếu đi cái mà Watt gọi là “bất kỳ ý tưởng nào về các nguyên lý thực sự của cỗ máy.” Năm 1759, khi Robison gia nhập lực lượng Hải quân Hoàng gia để phục vụ trong Chiến tranh Bảy năm giữa một bên là nước Phổ và Anh, với một bên là Áo, Pháp và Nga, họ đã tạm gác lại dự án này.

Watt tiếp tục sống trong khuôn viên trường Glasgow và đi đầu hành của hàng của mình song song với học tập và thí nghiệm. Nếu hiện tại ông có ít kiến thức về máy móc hơi nước thì vào năm 1758, ông sẽ sớm có lý do để nghiên cứu nó chuyên sâu hơn: năm 1760, giáo sư triết học tự nhiên mới được bổ nhiệm của Glasgow, John Anderson, hơn Watt tám tuổi, đã thuê ông bảo trì các dụng cụ và mô hình phòng thí nghiệm mà Anderson sẽ sử dụng để dạy vật lý và hóa học.^[11] (Anderson là một giáo viên nhiệt tình; học sinh của ông gọi ông là “Jack Phot pho vui tính.”^[12]) Ông đã trả cho Watt 5 pound 5 shilling vào tháng 6 năm đó, có lẽ để làm tiền tạm ứng trước. Một ngày trước lệnh thanh toán đó, một khoản tiền khác với giá 2 bảng dùng để trang trải chi phí lấy một động cơ Newcomen từ một nhà sản xuất máy móc ở London tên là Jonathan Sisson.^[13] Watt làm việc cho Anderson không chỉ trong việc bảo trì các dụng cụ và mô hình mà còn với tư cách là một người trợ lý thí nghiệm. Có lẽ ông đã vận hành động cơ Newcomen mới này trong các thí nghiệm trên giảng đường.

Nhiều năm sau, Watt nhớ rằng ông đã “tiếp tục thực hiện một số thí nghiệm riêng về hơi nước cho đến năm 1763.”^[14] Ông nói rằng khác với năm 1769, từ năm 1761 đến năm 1763, ông đã “thực hiện một số thí nghiệm về lực hơi nước trong n ỗ nình của Papin.”^[15] Watt chỉ mô tả chi tiết một thí nghiệm của ông, nhưng rõ ràng ông đã tiến hành nhiều thí nghiệm hơi nước trong suốt thời gian làm việc với Anderson.

Thí nghiệm mà Watt mô tả liên quan đến việc sử dụng n ỗ nình của Papin là để xây dựng cái mà ông gọi là một “loại động cơ hơi nước chuyên biệt.” Chiếc n ỗ nình áp suất mà Denis Papin thiết kế năm 1679 đã được lịch sử ghi nhận sau khi ông chìm vào quên lãng từ năm 1712, nó trở thành một thiết bị thí nghiệm tiêu chuẩn để thử nghiệm hơi nước áp suất cao.

Không giống như các nồi hơi được hàn và có đỉnh tán cùng thời, nồi áp suất của Papin có thành dày đủ để chịu áp suất lớn hơn đáng kể so với khí quyển. Trong thí nghiệm của Watt, chiếc nồi ninh đóng vai trò là nồi hơi để tạo và giam giữ hơi áp suất cao. Về xi-lanh, ông kết nối nồi ninh với một ống tiêm kim loại có kích thước bằng bút chì có một piston bên trong và có vòi nối giữa ống tiêm và nồi ninh để bật và tắt hơi nước. Bằng cách bơm hơi áp suất cao vào xi-lanh này, Watt có thể nâng những quả cân kim loại nặng 7 kg.^[16] Mở một trong các vòi sẽ cho phép hơi nước thoát ra không khí và xi-lanh trở về vị trí bắt đầu, hạ thấp những quả cân lần nữa. “Thật dễ dàng để thấy cách [điều khiển vòi] có thể được thực hiện bởi chính chiếc máy đó,” Watt ghi lại, “và... khiến nó hoạt động với sự đều đặn hoàn hảo.” Ông đã từ bỏ ý tưởng chế tạo một động cơ có kích thước thật dựa trên mô hình này vì Watt hiểu rằng mọi người sẽ phản đối nó vì những lý do tương tự mà họ đã phản đối động cơ của Savery: “Nguy cơ nổ nồi hơi, và khó khăn trong việc giữ kín các mối hàn, và một phần lớn sức mạnh của hơi nước cũng sẽ bị thất thoát” vì piston phải cưỡng lại áp suất khí quyển để trở về vị trí ban đầu của nó.^[17]

Những nỗ lực của Robison để phát minh ra một phương tiện chạy bằng hơi nước đã khuyến khích Watt khám phá tiềm năng của hơi nước. Ông gần như ngay lập tức bắt đầu thiết kế một động cơ hơi nước hoạt động với áp suất cao thay vì gián tiếp bằng cách ngưng tụ hơi nước để tạo chân không như động cơ Newcomen đã làm. Hơi nước áp suất cao mang nhiều năng lượng trên một đơn vị thể tích hơn so với hơi nước ở áp suất khí quyển, điều đó có nghĩa là động cơ áp suất cao có thể nhỏ hơn - đủ nhỏ để gắn trên bánh xe. Tuy Watt chưa bao giờ chế tạo một động cơ có kích thước chuẩn, nhưng ông sẽ định hình “loại động cơ hơi nước” của mình trong hai đăng ký sáng chế vài thập niên sau đó, một đăng ký bao gồm “một phương thức áp dụng nó vào việc di chuyển xe chở có bánh.”^[18] Công việc kinh doanh buộc ông phải gác lại nỗ lực sáng chế ban đầu này, nhưng đến năm 1763, James Watt đã học đủ về động cơ hơi nước hiện tại để nắm được phần nào cách hoạt động của nó.^[19]

Mùa đông năm đó, Anderson đã yêu cầu Watt sửa chữa động cơ Newcomen mà trường đại học đã mua từ Sisson vào năm 1760. Nó chưa bao giờ hoạt động tốt, chạy được một lúc là khò khè tắt máy. Đầu tiên, Watt tập trung vào việc sửa chữa “cấu trúc rất kém của một số bộ phận của

nó.” Tiếp theo, ông tinh chỉnh nó để giảm lượng nước lạnh bơm vào xi-lanh. Khi động cơ đã hoạt động bình thường được, ông chuyển sang nghiên cứu cách nó vận hành. Watt đã rất ngạc nhiên với lượng nhiên liệu “vĩ đại” được tiêu thụ so với kích thước của nó - xi-lanh bằng đường của máy chỉ có đường kính 5 cm nhưng có thành quá dày.^[20] Watt kết luận rằng xi-lanh này tỏa ra quá nhiều nhiệt, làm hệ thống quá nguội và gây hao phí năng lượng.

Vào thời điểm đó, John Robison trở về Glasgow sau khi xuất ngũ khỏi hải quân, và hai người bạn này lập tức tiếp tục hợp tác.^[21] Thảo luận về cỗ máy Newcomen bị lỗi trên, Watt nhớ lại, họ kết luận rằng nếu xi-lanh được làm bằng gỗ thay vì kim loại thì nó sẽ mất nhiệt ít hơn nhiều. Sau đó, Watt quyết tâm “cải tiến cỗ máy,” ông nói - không chỉ mô hình của Anderson mà còn, sau ba năm nghiên cứu và thử nghiệm không chính thức, cả chính động cơ Newcomen nữa. Hiệu năng và công suất máy rất thấp nhưng có nhiều chỗ để cải thiện. “Tôi luôn nghĩ rằng cỗ máy có thể được áp dụng cho các mục đích khác có giá trị như hút nước,” Watt ghi vào sổ tay.^[22] Robison đã mạo hiểm với một trong những mục tiêu đó: giao thông vận tải. Vô số xưởng đúc sắt và xưởng len của Anh hiện đang phụ thuộc vào ngu ồn cung nước không đáng tin cậy có thể vận hành tốt hơn nếu ứng dụng hơi nước.

Vào cuối năm 1763, Watt rời khỏi cơ ngơi trong trường đại học và đến thành phố Glasgow, mở một cửa hàng và xưởng sản xuất lớn hơn ở Trongate, gần chợ muối, phía bắc của sông Clyde và phía tây của công viên Glasgow Green.^[23] Ông bắt đầu nhận cổ đông mới bao gồm cả cha, James Watt Senior, cùng người bạn giáo sư lâu năm Joseph Black. Công việc kinh doanh của họ đã vượt xa thời làm cho đại học của Watt. Đến năm 1764, họ đã thuê mười sáu thợ và thư ký trong một hoạt động được mở rộng bao gồm việc bán lẻ, từ kính viễn vọng, nhạc cụ, đến đồ chơi. Tổng doanh thu của họ năm đó tổng cộng khoảng 600 bảng (ngày nay là 70.000 bảng, tương đương 100.000 đô-la).^[24] Nhà mới phù hợp với việc cưới vợ là một lý do khác cho việc di chuyển. Watt gần đây đã đính hôn với một người em họ bên ngoại tên là Margaret Millar - biệt danh Peggy - người mà ông biết từ thời thơ ấu. Họ kết hôn vào tháng 7.^[25]

Bất chấp những thay đổi khiến Watt bận lòng, ông vẫn tìm ra thời gian để thử nghiệm các cải tiến cho động cơ đốt. Robison đã ghi nhận tiến bộ

của họ:

Watt đã cải thiện đáng kể nồi hơi bằng cách tăng bề mặt tiếp xúc với lửa; ông đặt các ống hơi giữa tâm nước; đặt lửa giữa tâm nước; và làm nồi hơi bằng gỗ... Ông bọc xi-lanh và tất cả các ống dẫn, trong các vật liệu dẫn nhiệt rất chậm; ông thậm chí còn dùng gỗ để làm chúng. Sau khi đã quen với các thiết kế của mình (giờ ông đã chế tạo các mẫu mới), ông thấy rằng vẫn còn lãng phí hơi nước và nhiên liệu quá lớn, không thể tránh khỏi, do phải làm mát xi-lanh xuống nhiệt độ thật thấp ở mỗi pha vận hành hiệu quả; và ông đã nhận thấy ba phần tư tổng lượng hơi nước đã ngưng tụ và hao phí trong quá trình đi lên của piston... Sự hao phí năng lượng khổng lồ này dường như là không thể tránh khỏi.^[26]

Trước thời điểm mùa hè mà ông kết hôn, ông còn tiến hành nhiều thí nghiệm khác nữa. Watt đo lượng hơi cần thiết để đun nóng một thể tích nước lạnh đến độ sôi. Ông đã ngạc nhiên khi nhận ra “nước được chuyển thành hơi có thể đốt nóng một lượng nước giếng có khối lượng gấp sáu lần lên tới nhiệt độ 100°C ... Ngỡ ngàng trước phát hiện đáng chú ý này và không lý giải được nguyên nhân của nó, tôi đã trao đổi với bạn là Tiến sĩ Black, và ông ấy đã giải thích cho tôi học thuyết của mình về ẩn nhiệt.”^[27]

Joseph Black, nhà nghiên cứu trong lĩnh vực mà ngày nay chúng ta gọi là hóa lý, là người phát hiện ra ẩn nhiệt. Suốt nhiều thế kỷ người ta đã cho rằng việc đưa nhiệt vào một chất sẽ làm tăng dần đều nhiệt độ của nó. Ngược lại, Black nhận thấy việc đun một lượng nước nhỏ để bay hơi hết mất khoảng sáu lần thời gian để đun nó đến điểm sôi ban đầu.^[28] Năm 1757, Black bắt đầu đo lường độ trễ lý thú này. Ông nhận ra đun nóng một nồi nước làm tăng nhiệt độ của nó cho đến khi bắt đầu sôi, lúc đó nhiệt độ nước sôi vẫn giữ nguyên - 100°C - mặc dù tiếp tục thêm nhiệt, cho đến khi tất cả nước bốc hơi hết. Tương tự như vậy, việc làm nóng băng đông lạnh làm tăng nhiệt độ của nó cho đến khi nó bắt đầu tan chảy, tại thời điểm đó, nhiệt độ của băng tan vẫn giữ nguyên ở mức đóng băng - 0°C - mặc dù tiếp tục thêm nhiệt, cho đến khi tất cả băng tan thành nước. Lượng nhiệt làm tăng đáng kể nhiệt độ được Black gọi là “hiện nhiệt.” Còn lượng nhiệt dường như biến mất trong nước sôi hoặc tồn tại trong băng tan mà không làm thay đổi nhiệt độ được ông đặt tên là “ẩn nhiệt.”

Điều gì đã xảy ra với nhiệt? Black đã thử nghiệm những hiện tượng này trong năm năm tiếp theo. Năm 1762, ông đã đi đến kết luận, khi báo cáo với Câu lạc bộ Triết học của trường đại học vào tháng 4, rằng với băng, lượng nhiệt đó để chuyển băng thành nước; và trong trường hợp đun sôi, để biến nước thành hơi.^[29] (Ngày nay những biến đổi này được gọi là hiện tượng thay đổi trạng thái. Khi nhiệt tác động vào một vật, vật này sẽ thay đổi nhiệt độ hoặc thay đổi trạng thái - từ băng sang nước, từ nước sang hơi và nói chung từ thể rắn sang thể lỏng, sang thể khí - và lượng nhiệt “biến mất” thể hiện công năng cần thiết để vượt qua lực nguyên tử chống lại sự thay đổi. Hơi nước ở áp suất khí quyển chiếm một thể tích gấp 1.700 lần lượng nước mà nó sinh ra, ví dụ: ẩn nhiệt biểu thị năng lượng - công năng - cần thiết để thúc đẩy sự giãn nở.)

Các thí nghiệm ngoài giờ cũng giúp Watt tìm ra ẩn nhiệt: “Từ đó tôi đã tình cờ gặp được một trong những hiện tượng vật chất mà lý thuyết đẹp đẽ [của Black] đề cập đến.”^[30] Watt lấy từ lý thuyết này thông tin mà ông cần: nước hấp thụ rất nhiều nhiệt khi biến thành hơi và mất đi rất nhiều nhiệt khi biến trở lại thành nước. Nếu ông muốn chế tạo một động cơ hơi nước hiệu quả hơn, tốn ít than hơn, từ đó chi phí rẻ hơn để vận hành, thì “điều cần thiết là xi-lanh luôn nóng như hơi nước đi vào và hơi nước cần được làm lạnh xuống dưới 37°C [khi bơm nước lạnh để ngưng tụ tạo chân không] để phát huy hết sức mạnh của nó.”^[31]

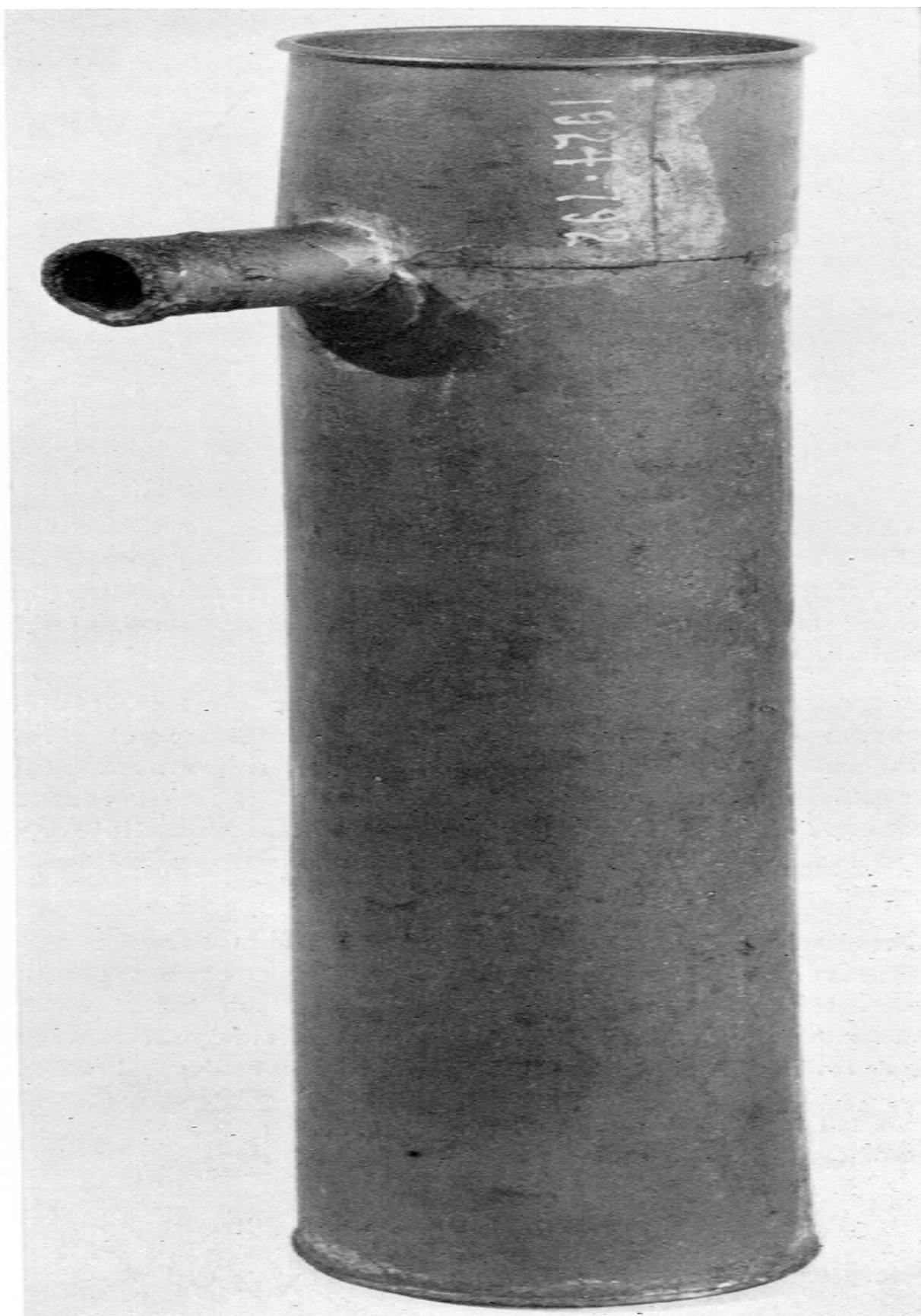
Nhưng hai yêu cầu này là loại trừ lẫn nhau. Làm thế nào để giữ cho xi-lanh nóng trong khi đưa nước lạnh vào để ngưng tụ hơi nước? Ông hoang mang với câu hỏi đó nhiều tháng trời. Vào một chiều Chủ nhật tháng 4 năm 1765, câu trả lời đã đến với ông như một sự tỉnh thức kinh điển.^[32] Watt lúc đó đang đi bộ ở công viên Glasgow Green, suy tư về bài toán nghịch lý của mình, khi ông nhận thấy hơi nước giãn nở để lấp đầy chân không, nếu ông gắn vào một bể riêng kết nối với xi-lanh, bơm không khí ra rồi mở kết nối, hơi nước sẽ tràn vào bể riêng này - và xi-lanh sẽ được làm rỗng.^[33]

Giải pháp nằm ở việc không làm mát xi-lanh chính để ngưng tụ hơi nước. Làm như vậy sẽ lãng phí lượng nhiệt cần thiết để làm nóng xi-lanh cho chu kỳ tiếp theo. Nhiệt là than; than là tiền. Tốt nhất là tiết kiệm nó. Watt viết trong đơn xin cấp bằng sáng chế của mình bằng ngôi thứ ba “tâm trí của anh ta theo đuổi việc làm cho động cơ vừa rẻ vừa tốt.”^[34] Người

Scotland này nhận ra cách đơn giản nhất để tiết kiệm nhiệt là chuyển hoàn toàn quá trình ngưng tụ ra khỏi xi-lanh vào một bể riêng mà ông gọi là bình ngưng riêng. Như vậy xi-lanh có thể được giữ nóng trong suốt chu kỳ làm việc và tiết kiệm năng lượng. Vậy có thể kết nối xi-lanh và một bình ngưng nhỏ hơn thông qua một đường ống, với một van để kiểm soát dòng chảy. Khi hơi từ nồi hơi đã lấp đầy xi-lanh chính, chỉ bơm nước lạnh vào *bình ngưng*NA mở van. Hơi nước trong xi-lanh sẽ tràn vào bình ngưng, làm ngưng tụ nước ở đó và để lại khoảng trống trong xi-lanh. Chân không trong xi-lanh sẽ cho phép áp suất của khí quyển đẩy piston lên, sản sinh công.

Nhưng với một khoảng chân không trong cả xi-lanh và bình ngưng, làm sao để nước lạnh đi vào, không khí đi vào và hơi nước ngưng tụ được thoát ra cho chu kỳ tiếp theo? Watt nghĩ ra hai cách, một cách là một ống thoát nước dài chìm xuống mặt đất bên dưới động cơ. Nhưng phương pháp ông chọn là bơm chúng ra bằng thiết bị bơm hơi. Một ống thoát nước dài sẽ giới hạn khu vực có thể lắp đặt động cơ. Thiết bị bơm hơi thì có thể lắp đâu cũng được.

Với sự phấn khích tột độ, Watt đã chế tạo một mô hình bình ngưng tách rời: một xi-lanh thiếc cao, hẹp với một xi-lanh nhỏ hơn được lắp bên trong máy bơm.



Mẫu bình ngưng riêng đầu tiên của Watt

Một ngày nọ, ông đang ngồi trong phòng khách làm việc với mô hình này vào tháng 5 năm 1765 thì John Robison đến nhà. Có lẽ một người hầu đã cho Robison vào; sự xuất hiện này làm Watt bất ngờ. Robison bắt đầu nói về hơi nước nhưng Watt đã quá phấn khích không kiềm chế được bản thân: “Ông không cần phải làm khó mình nữa. Giờ tôi đã chế tạo được một động cơ không lãng phí một hạt hơi nước nào. Tất cả sẽ được giữ cho sôi, đương nhiên rồi, và nước lạnh sẽ được đưa vào nếu tôi muốn.” Đến đoạn đó, Watt nhận thấy Robison đang nhìn chăm chăm vào mô hình ngưng tụ của ông; ông liền đá nó xuống dưới gầm bàn.^[35]

Robison hỏi Watt về cái ống mà ông vừa cố giấu. Watt trả lời kiêu vô thường vô phạt. Robison tỏ ra thất vọng. Ông nói rằng gần đây đã buột miệng “tiết lộ” cho một đối thủ cạnh tranh về một ý tưởng mà Watt đã chia sẻ với ông, và Watt ngay lập tức lấy lại được khả năng nói năng rành mạch. Robison rời đi, chuẩn bị về nước tối hôm đó. Robison đi bộ đến bờ sông gần đó để chờ xe và bất chợt gặp một người bạn cả hai đều quen, Alexander Brown, người đang ra ngoài đi dạo.

“Chà,” Brown hỏi thăm Robinson, “ông đã gặp Jamie Watt chưa?” Robison trả lời có. Brown bảo Watt hẳn đang vui lắm. Robison đồng ý. “Trời ạ,” Brown tiếp tục, háo hức chia sẻ tin mới, “bình ngưng chính là giải pháp: giữ nó vừa đủ lạnh và ta sẽ có một khoảng chân không hoàn hảo, bất kể sức nóng của xi-lanh.” Đến lúc ấy Robison mới hiểu ra: giữ cho xi-lanh nóng, thoát hết hơi nước, thiết bị ngưng tụ riêng: “Mọi thứ bất chợt lóe lên trong đầu tôi.”^[36]

Robison tiếp tục khai thác thêm thông tin từ Brown. Ông biết rằng Watt đang gặp khó khăn trong việc ngăn xi-lanh rò hơi nước. Watt đã thử cả da và nỉ, nhưng chúng đều không thể chịu được sức nóng. Đó rõ ràng là một khó khăn mới chưa được giải quyết. Robison nhận định điểm quan trọng ở đây là Watt đã sử dụng hơi nước để tạo năng lượng cho động cơ của mình, không đơn thuần chỉ dựa vào áp suất không khí.

Về đến nhà vào ngày hôm sau, Robison đã đặt làm một động cơ. Khi nhận được sản phẩm đặt làm, ông hào hứng thử nghiệm. Trong vài phút, ông liên tục bơm hầu hết không khí ra một bể chứa lớn. Sau đó ông không còn nghi ngờ gì nữa, rằng “Ngài Watt đã thực sự tạo ra một động cơ hơi nước hoàn hảo.”^[37]

Các động cơ đời đầu của Watt vẫn còn rất nhiều khuyết điểm. Mặc dù ít lãng phí than hơn so với các động cơ Newcomen thế hệ trước, những động cơ này chỉ có hiệu năng 2%. Đáng nói hơn, khi ông nộp đơn xin cấp bằng sáng chế và được duyệt vào năm 1769, ông đã đề xuất bảo đảm quyền phát minh của mình dưới danh mục “Các phương pháp giảm thiểu tiêu thụ hơi nước, và từ đó, bớt hao phí nguyên liệu trong động cơ đốt.”^[38] Nếu có hiệu năng hơn thì nó vẫn là một động cơ khí quyển, hoạt động không phải bằng áp suất hơi trực tiếp mà bằng cách ngưng tụ hơi nước để tạo chân không.

Watt cũng không thể theo đuổi việc cải tiến động cơ toàn thời gian. Trong hầu hết mười năm sau khi lóe lên ý tưởng ở công viên Glasgow Green, ông làm công việc khảo sát và kỹ sư xây dựng, xây kênh đào cho làn sóng phát triển kênh đào mới quét đến Anh và lắp ráp những động cơ Newcomen thông thường. Năm 1775, ông tìm được một đối tác năng động, có khả năng giúp sức, tài chính dư dả, đó là nhà công nghiệp thành đạt Matthew Boulton. Watt hay than vãn còn Boulton thì táo bạo; ông nổi tiếng với việc bảo Watt khi Watt định đề xuất bán cho Boulton độc quyền sản xuất động cơ hơi nước chỉ cho các hạt Warwickshire, Staffordshire và Derbyshire, “Sẽ không đáng để tôi chỉ sản xuất cho có ba hạt này, nhưng tôi thấy rất đáng nếu sản xuất cho cả thế giới.”^[39] Boulton vận động Quốc hội tăng thời hạn cho bằng sáng chế của Watt và được cấp phép đến năm 1800.

Các động cơ của Boulton và Watt sau đó khai thác hơi nước trực tiếp, gắn van tiết lưu tự động, tạo ra chuyển động quay, công suất đầu ra nhịp nhàng và hơn thế nữa. Từ việc chỉ bơm nước mỏ, các động cơ hơi nước mới đã thổi vào các lò luyện kim, quay các xưởng bông, xay ngũ cốc, đúc huy chương và tiền xu, và giải phóng các nhà máy tự do khỏi những hạn chế về năng lượng và địa lý của việc dùng vật kéo hay thủy lực. Vào đầu thế kỷ 18, than đã chiếm một nửa sản lượng năng lượng của Anh; vào đầu thế kỷ 19, tỉ lệ này đã tăng trên 75% và tiếp tục tăng.^[40]

Mặt trái của các phần thưởng này là những hậu quả không lường trước được, đó là sự gia tăng ô nhiễm không khí: tình trạng ô nhiễm từ khói than công nghiệp và trong nước và ô nhiễm từ những quy trình vận hành động cơ hơi nước. Ngay tại Ireland vào đầu năm 1729, Jonathan Swift đã viết trên *Dublin Weekly Journal*, “Các bác sĩ ở Dublin phải thường xuyên đưa

bệnh nhân đến nơi không khí trong lành hơn, gần vùng ngoại ô để thoát khỏi khói công nghiệp chốn thành phố. Khói đó vào mùa đông quá dày và đủ vẩn đục để gây ngạt thở cho cả người và vật, tác động của nó lớn đến mức ảnh hưởng đến cả hoa cỏ và việc hoa nở vào mùa xuân.”^[41] Thêm vào khói than cháy, từ khoảng giữa thế kỷ 18, những “nhà xưởng hắc ám của Quỷ Satan” trong bài thơ “Jerusalem” năm 1808 của William Blake bắt đầu gieo rắc tai họa lên vùng đất xanh tươi và dễ chịu của nước Anh.

“Ở London,” chuyên luận của John Farey năm 1827 mô tả động cơ hơi nước, “tất cả các xưởng bia và xưởng rượu lớn trong vài năm qua đều đã trang bị động cơ... Một lò rèn sắt được xây dựng tại Rotherhithe, khoảng năm 1787, để chế biến những mẫu sắt cũ thành sắt thanh. Một xưởng làm giấy cũng mua động cơ khí quyển. Một xưởng len và xưởng gỗ huyết mộc được thiết lập tại khu Borough [London] vào năm 1792, tại một nhà máy nhuộm lớn cho vải len, với một động cơ 20 mã lực.

Một xưởng dầu đã được xây dựng ở London ngay sau đó, tiếp đó là một xưởng để nghiền thuốc; rồi xưởng ép, tráng bóng, và đóng gói vải để xuất khẩu.

Farey kết luận, “Những cơ sở đầu tiên này được nhân rộng và mở rộng quy mô rất nhiều trong suốt mười năm, đặc biệt là các xưởng bông tại Manchester và Glasgow, và các xưởng xay ngô ở tất cả các thị trấn lớn.” Quá trình nhân rộng vẫn tiếp tục tăng tốc kể cả sau khi bằng sáng chế của Watt hết hạn năm 1800.”^[42]

Ngoài ra, với việc hết hạn bằng sáng chế của Watt, nhiều người khác có thể khám phá việc sử dụng hơi nước trong vận tải. Đầu tiên than thay thế gỗ, thứ ngày càng tốn kém, để sưởi ấm gia dụng. Nhu cầu than gần khu vực đường thủy sau đó đã thúc đẩy việc khai thác sâu hơn dưới lòng đất, giao với mực nước ngầm và làm ngập nhiều mỏ. Vấn đề bơm nước từ các mỏ ngập sớm vượt quá khả năng của con người và sức kéo động vật. Các động cơ khí quyển được phát minh cho mục đích này sau đó đã dọn sạch các mỏ trong khi tiết lộ sức mạnh của hơi nước để thay thế sức người và sức vật. Sự ra đời vào năm 1781 của động cơ hơi nước tác động kép của Boulton và Watt - hơi nước được luân phiên đưa vào hai đầu đối diện của piston, đẩy cũng như kéo - tạo chuyển động quay khả dĩ, cho phép các nhà sản xuất đặt nhà máy cách xa những con sông từng cung cấp năng lượng cho họ. “Trong suốt 70 năm đầu tiên của lịch sử động cơ đốt,” Galloway

xác nhận với ẩn dụ của Coleridge, “thành tựu duy nhất của người không lờ chạy bằng hơi nước là vẽ một đường thẳng. Bây giờ nó đã được dạy một ý tưởng mới, cụ thể là cách vẽ một đường tròn - một sự bổ sung cho màn trình diễn của nó, thứ có giá trị vô hạn đối với thế giới.”^[43]

Ngày 10 tháng 7 năm 1776, tại Liên bang Hợp chúng quốc Hoa Kỳ mới được ra đời, các tờ báo xuất bản Tuyên ngôn Độc lập, dù chưa được ký kết, khi các tàu của Anh nã pháo vào New York từ sông Hudson. Đại hội Lục địa, họp tại Philadelphia, đã quyết định tạm ứng một tháng thù lao trả cho dân quân Pennsylvania, đồng thời thiết lập các quy tắc về trật tự cho những nghi thức của họ, và xem xét một báo cáo chiến sự từ Thiếu tướng Benedict Arnold.

Cùng ngày, ở Anh, người thợ sắt John Wilkinson đã chào đón người bạn Samuel More tới Birmingham. More là thư ký của Hiệp hội Nghệ thuật, Sản xuất và Thương mại Hoàng gia, đã đi từ London tới để xem xét các công nghệ mới ẩn tượng của năng lượng hơi nước và sản xuất sắt. Hai người bạn đi dạo bên một con kênh và dành cả buổi tối nói chuyện r ồi qua đêm tại một quán trọ. Ngày hôm sau, Josiah Wedgwood, thợ gốm bậc thầy, đã tham gia cùng họ, cũng như Matthew Boulton, người đã cho họ xem qua nhà máy Boulton & Watt tại Soho. Họ ăn tối tại đây chiều hôm đó. Sau bữa tối, Boulton đã xem xét lịch sử của động cơ hơi nước, và họ đã thực mục sở thị một động cơ đời cũ được cải tiến với xi-lanh Wilkinson mới.

“Thế r ồi một đi ều đáng kinh ngạc đã xảy ra,” trích lời người viết tiểu sử của Wilkinson. “Bốn người đàn ông cởi áo khoác, xắn tay áo lên và tháo từng mảnh động cơ để hiểu chi tiết hoạt động của nó. Sau đó, họ đã lắp ráp lại và cho nó hoạt động tốt trở lại trước khi trời tối.”^[44] Nếu người Mỹ đã xắn tay áo để nghiên cứu các quy trình của một cuộc cách mạng chính trị thì người Anh đã xắn tay áo để học các quy trình của một cuộc cách mạng kỹ thuật.

Ít nhất, đó là cách mà một chính trị gia người Ireland sắc sảo, John Baker Holroyd, Lãnh chúa của Sheffield, đã nhìn thấy sự tương đồng lịch sử mười năm sau đó, sau khi người Anh đã thất bại trong chiến tranh Mỹ. Sheffield đã viết, “Nếu coi các cải tiến rất tài tình và đáng khen ngợi của Ngài Cort trong nghệ thuật chế tạo và luyện sắt, động cơ hơi nước của Boulton và Watt, cùng việc Ngài Dundonald tìm ra cách sản xuất than cốc [từ than đá] với giá chỉ bằng một nửa đầu là thành tựu, thì sẽ chẳng quá

manh mieng khi tuyen bo nhung thanh tu do se co loi cho Vuong quoc Anh hon ca viec so huu muoi ba thuoc dia.”^[45] Co le vay, nhung dong co hoi nuoc dau tien o My da thoat nuoc cho mo dong New Jersey tu nam 1755, va nha phat minh nguoi My o Connecticut la John Fitch van dang baten thur nghiem mot mau tau hoi nuoc tren song Delaware.^[46]

05 AI BẮT ĐƯỢC TÔI NÀO

Ngày các kênh đào ở Anh lên ngôi đánh dấu sự trốn chạy của một công tước khốn khổ đến từ London.^[1] Francis Egerton, Công tước Bridgewater đệ tam, sinh năm 1736, là con út trong số mười một đứa trẻ và là người duy nhất trong bảy người con trai sống sót đến tuổi trưởng thành. Sau khi cha qua đời khi ông mới chín tuổi, ông bị bỏ rơi và lớn lên thành một kẻ chơi bời trác táng. Một chuyến du hành hoành tráng khắp châu Âu vào năm mười bảy tuổi với học giả Robert Wood, gia sư của ông, hầu như chẳng may mắn khiến ông thay đổi. Tại Paris và Lyons, Egerton đã tán tỉnh một nữ diễn viên người Pháp công khai đến mức Wood dọa sẽ bỏ việc. Họ hàn gắn mối quan hệ lúc Bridgewater trẻ tuổi học ngành kỹ thuật tại Học viện Lyons. Những tác phẩm nghệ thuật đắt tiền mà Wood khuyên ông nên mua ở Ý được chở thẳng về nhà nhưng cũng chỉ để đầy đống bụi. Trở về Anh và sống ở London, với mức thu nhập 30.000 bảng mỗi năm (ngày nay là 420.000 bảng, tương đương 600.000 đô-la), vị công tước chìm đắm trong rượu chè, gái gú, cờ bạc và đua ngựa.

Năm 1751, hai người đẹp Anh-Ireland, chị em nhà Gunning, đã đến London. Elizabeth, người em gái, kết hôn với Công tước Hamilton vào năm 1752. Trong sáu năm tiếp theo, cô sinh cho ông ba người con, nhưng ông đột ngột qua đời năm 1758 vì bị nhiễm trùng nặng sau cảm lạnh. Bridgewater ngay lập tức say mê người góa phụ trẻ. Cô chấp nhận lời cầu hôn nhưng lại hủy bỏ hôn ước để kết hôn với Công tước Argyll tương lai. Liên tục vấp phải những nỗi đau chua xót trong chuyện tình cảm và không bao giờ kết hôn, vị công tước hai mươi ba tuổi đã tổ chức một buổi dạ vũ hoành tráng cuối cùng trước khi lui về khu điền trang của mình ở Worsley, ngoại ô phía tây bắc Manchester, để khai thác than và xây một kênh đào.

Câu chuyện được người đời bàn tán là vậy. Nhưng trong chuyến du hành hoành tráng của mình, chàng trai trẻ Bridgewater đã bị mê hoặc bởi vẻ đẹp tinh tế của Kênh đào Languedoc ở miền tây nam nước Pháp trước khi ông phải lòng nữ Công tước Hamilton. Kênh Languedoc (ngày nay gọi là Canal du Midi), được khai trương vào năm 1681, đi qua Pháp ở cuối khu vực thắt nút giáp Tây Ban Nha, nối Đại Tây Dương qua Vịnh Biscay đến Địa Trung Hải. Đó là một trong những công trình vĩ đại của khoa học kỹ thuật Pháp theo lệnh của Vua Louis XIV, dài 240 km, đứng thứ hai về chi phí chỉ sau Versailles, ban đầu dự định để xuất xưởng lúa mì và rượu vang Pháp đến Địa Trung Hải, tránh được các chuyến đi dài ngày vòng qua Tây Ban Nha và nguy cơ giáp mặt với cướp biển ở Eo Gibraltar.^[2]

Bridgewater mang theo ý tưởng đó về quê nhà. Ông sở hữu mỏ ở Lancashire, nhưng việc chở than trên bằng ngựa thồ trên đường sá nước Anh tốn kém và chịu những khoản phí cắt cổ để đưa nó qua ba con sông đến Manchester khiến việc giao hàng đắt đỏ kinh khủng. Năm 1757, một năm trước khi ông rời London đến Worsley, vị công tước đã thuê một viên đại diện để lên kế hoạch cho mình. John Gilbert bắt đầu khảo sát tuyến kênh; Bridgewater thì đi vận động Quốc hội Anh, nơi có khả năng cấp phép cho kênh đào của ông vào tháng 3 năm 1759.^[3]

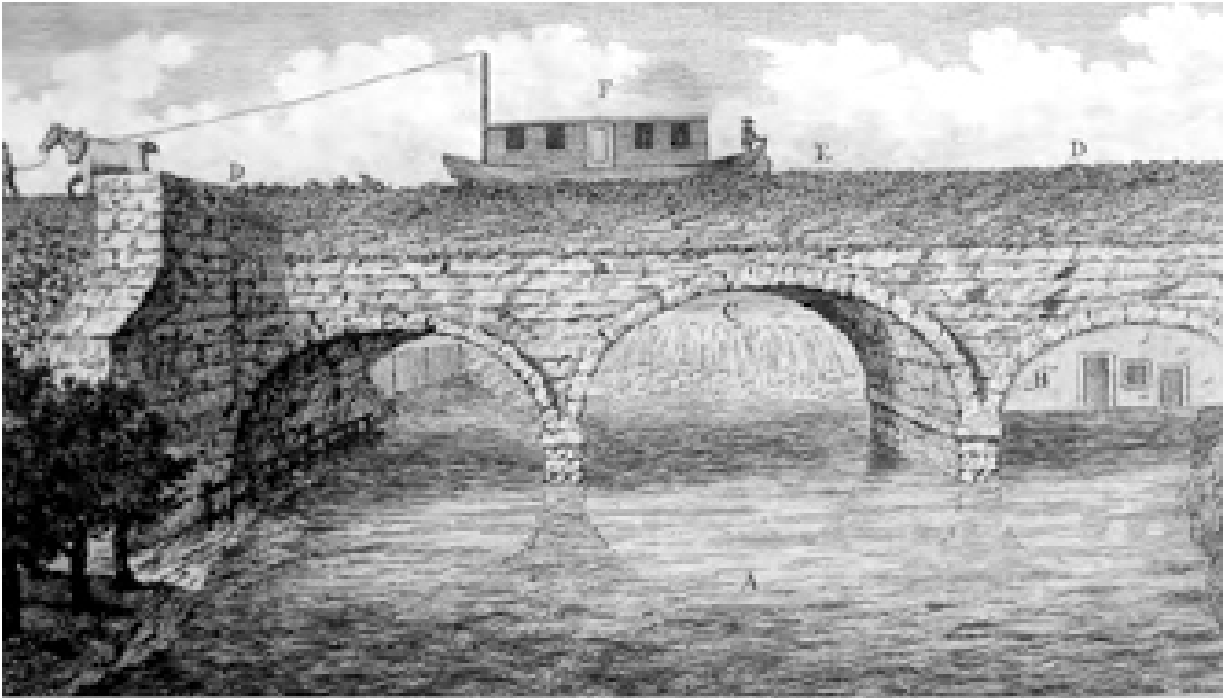
Gilbert giới thiệu công tước với James Brindley, kiến trúc sư nổi tiếng về nhà xưởng và kênh đào. Brindley đã dành sáu ngày để thảo luận với Bridgewater tại Sảnh Worsley Cũ vào tháng 7 năm 1759. Đến cuối khoảng thời gian đó, ông đã thuyết phục được công tước vạch ra một tuyến kênh mới, kết nối tuyến đường thủy Manchester với một mạng lưới lớn hơn mà Brindley đang lên kế hoạch sẽ liên kết các kênh đào của khu vực với Liverpool, London, Birmingham và thế giới.

Dù còn trẻ, vị công tước này là một doanh nhân sắc sảo, có khả năng phán đoán rủi ro tốt. Công trình gây tranh cãi nhất trong phiên bản kênh của Brindley là một ống dẫn nước bằng đá ba vòm để đưa kênh đào *bắc qua* sông Irwell. Tại London vào tháng 1 năm 1760, Brindley đã trình diễn sáng kiến cấp tiến này với một ủy ban quốc hội với một mô hình mà ông đã khắc từ chiếc bánh pho mát cheddar của Anh.^[4] Một kỹ sư tư vấn nổi tiếng trong ban đánh giá kế hoạch mới đã bác bỏ nó một cách khinh bỉ: “Tôi thường nghe thiên hạ nói đến việc xây lâu đài trên không khí nhưng chưa bao giờ thấy tận mắt cái nào được xây xong cả.”^[5] Tuy nhiên, vị công

tước vẫn thắng thế. Đến tháng 3, ông giành được cả sự đồng thuận của hoàng gia. Một năm rưỡi sau, đoạn đầu tiên của kênh đào với ống dẫn nước trên không đã hoàn thành, khiến cho du khách thập phương sửng sốt. Một người đã viết cho một tờ báo của Manchester về “niềm hân hoan” của ông khi được chiêm ngưỡng công trình mới lạ này:

Trên cầu Barton [Ngài Brindley] đã dựng lên một con kênh có thể qua lại được; vì nó cao đến ngọn cây. Trong khi tôi đang ngắm nghía nó với sự pha trộn giữa ngạc nhiên và thích thú, bốn chiếc xà lan lướt qua tôi trong khoảng ba phút, hai trong số chúng bị xích lại với nhau, và được kéo bởi hai con ngựa trên phần nền cao của kênh, nói thực, tôi đã không dám đi qua nó, tôi gần như run lẩy bẩy khi nhìn dòng sông lớn Irwell cuộn dưới chân mình.^[6]

Kênh Bridgewater bắt đầu *bên trong* mỏ than ở Worsley của công tước, nơi một lối vào khoét rộng, được lát gạch cho phép những người thợ vác các hòm than vào xà lan để chuyển lên thuyền nổi trên kênh. Đây là hệ thống đầu tiên như vậy trên toàn châu Âu. (Mỏ càng vào sâu, hệ thống lối vào cũng được kéo dài, sau đó mở rộng hơn 80 km dưới lòng đất.^[7]) Không giống như các kênh đào trước, thứ đơn thuần là cắt ngang hoặc uốn lượn quanh sông hoặc song song với ghềnh và vùng nước nông, kênh Bridgewater là một hệ thống công trình nhiều nhánh, băng qua những thung lũng giữa lưu vực sông và cần phải có đường dẫn nước hoặc kè cao. Nó kéo dài đến tận Bến tàu Castlefield ở Manchester vào năm 1765, hoàn thành mục đích của nó cũng như đổ đầy kho bạc của công tước. Một du khách Thụy Điển kiêm gián điệp công nghiệp, Eric Svedenstierna, đã ghi chép về chuyến thăm Manchester của gã vào năm 1802 như sau: “Với nhu cầu than lớn như vậy, một lợi thế không nhỏ là ngay cả với mức giá cao hiện nay, Manchester có thể có than với giá rẻ hơn khoảng 50% so với chi phí than cách đây hơn 40 năm, trước khi kênh đào của Công tước Bridgewater hoàn thành, từ những người có mỏ than cung ứng cho toàn bộ Manchester.”^[8]



Dân Anh sử dụng than để sưởi ấm và nấu ăn tăng lên, từ 5,2 triệu vào năm 1700 đến 7,8 triệu vào năm 1800, và lên tới 12 triệu vào năm 1831. Nền công nghiệp đã sử dụng than cho động cơ Newcomen để khai thác than và bơm nước, mặc dù phần lớn than đó thực chất là phế thải từ mỏ. Nhưng việc luyện sắt bằng than cốc đã bắt đầu mở rộng quy mô lớn sau năm 1750, lan ra từ doanh nghiệp Darby ở Coalbrookdale và nhanh chóng thay thế việc luyện kim bằng than củi.

Sự chuyển đổi từ than củi sang than cốc này ngay khi nước Anh bắt đầu công nghiệp hóa thường được quy cho những sự cải thiện về chất lượng của sắt luyện với than cốc. Học giả gần đây đã tìm thấy một yếu tố quyết định hơn đó là chi phí than tăng. Cầu đẩy giá lên cũng là một nguyên nhân quan trọng. Một điếu nữa, lại là sự khan hiếm ngày càng tăng của gỗ có sẵn để làm than củi. Mặc dù sắt luyện với than cốc tốn kém hơn để có thành phẩm so với sắt luyện với than củi, giá than củi cao hơn sau năm 1750 cho thấy khoản chênh lệch này là hợp lý.^[9]

Than được đào từ các nguồn tập trung (mỏ than) thay vì gỗ phân tán trên diện rộng - phân bố theo dạng điểm thay vì trên một *diện tích*) - đã khiến việc vận chuyển nhiên liệu trở nên hiệu quả dọc theo một số ít tuyến đường. Sự tập trung đó đã chứng minh cho việc đầu tư lớn để cải thiện các tuyến đường là rất biết nhìn xa trông rộng. Các tuyến đường hiệu quả nhất

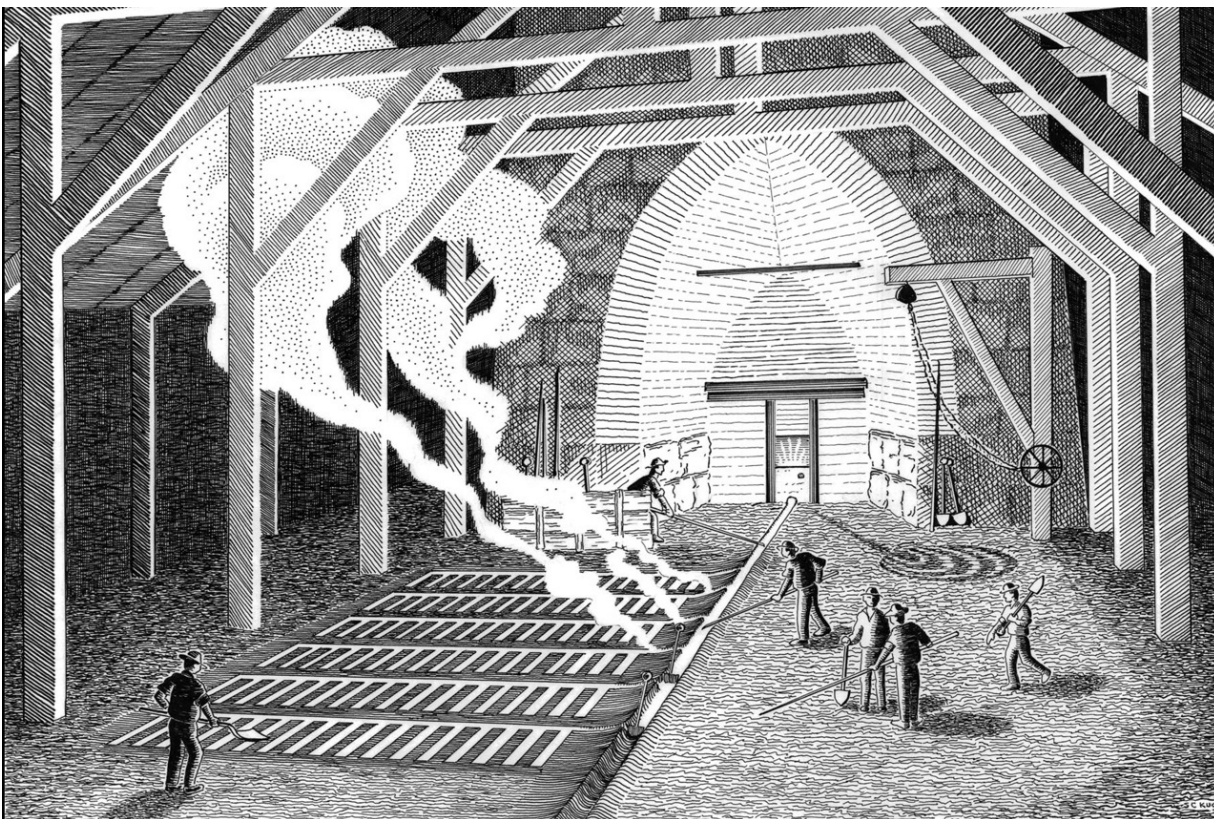
trong thời đại đó chính là hệ thống kênh đào. (Trong số 165 đạo luật được Quốc hội Anh thông qua từ năm 1758 đến năm 1802 cấp phép cho kênh đào, thì 90 đạo luật đã liệt kê than là hàng hóa vận tải dự kiến chủ yếu.)^[10]

Nếu than được di chuyển hiệu quả hơn bằng thuyền kênh đào, thì nó vẫn cần được vận chuyển từ cửa mỏ đến đường thủy trước đã. Đường ray gỗ bị hỏng nhanh chóng dưới hàng hà sa số than hoặc quặng sắt. Richard Reynolds, người quản lý xưởng sắt Darbys ở Ketley, gần Coalbrookdale, vào những năm 1760, đã đề xuất dùng các tấm gang và sau đó là các thanh ray bằng gang để bảo vệ các thanh ray gỗ khỏi hao mòn hoặc để thay hẳn chúng. Ông cũng có một lý do khác để sử dụng sắt: một hệ thống lưu trữ tinh vi mới. Một cuộc suy thoái sau khi kết thúc Chiến tranh Bảy năm vào năm 1764 làm suy giảm nhu cầu đối với các sản phẩm sắt. Giá rơi tự do. Reynolds vẫn muốn giữ cho lò của mình hoạt động và nhân viên của mình làm việc. Thay vì lưu trữ sản xuất dư thừa, Reynold đã sử dụng chúng làm đường ray. Sau đó, nếu giá sắt tăng trở lại, ông có thể tháo đường ray ra và bán. “Lúc đầu, Reynold đã rất thận trọng,” cháu gái của ông nhớ lại, “nhưng ông thấy đó là một giải pháp tuyệt diệu, rằng chẳng mấy chốc tất cả các đường ray đều sẽ phải làm bằng sắt.”^[11]

Với bánh xe sắt trên đường ray sắt, một con ngựa có thể kéo được 30 tấn than hoặc quặng. Vận chuyển khoáng sản bằng đường sắt không còn phải phụ thuộc vào trọng lực để cung cấp năng lượng. Cùng lúc đó, các đường ray xe toa cũ bắt đầu được bọc sắt, các tuyến đường sắt ngựa kéo mới được lắp đặt như đường nhánh dẫn tới mạng lưới kênh đào, giống như hàng trăm mao mạch chảy vào tĩnh mạch. Quốc hội cấp phép cho tuyến đường sắt đầu tiên như vậy vào ngày 13 tháng 5 năm 1776, nối từ mỏ đá Caldon Low ở Staffordshire, dưới Liverpool, đến cảng Froghall trên kênh Trent & Mersey, với khoảng cách 5 km.^[12] Từ khởi đầu đó, mạng lưới đường sắt trung chuyển của Anh lớn mạnh song hành với mạng lưới kênh đào.

Ba diễn biến khác, hai trong số chúng là tình cờ, đã kích thích sự thay đổi sáng tạo. Bằng sáng chế động cơ hơi nước của James Watt hết hạn vào tháng 6 năm 1800. Việc bảo hộ sáng chế đã không khuyến khích các nhà phát minh khác khám phá những cải tiến tiềm năng. Bây giờ, khi cả Watt và Boulton đều nghỉ hưu, lĩnh vực thiết kế động cơ hơi nước lại tiếp tục đón nhận các ý tưởng mới.

Năm 1803, một diễn biến bất ngờ khác đã khiến chi phí cho ngựa đường sắt và thức ăn gia súc tăng giá kịch trần: Anh tuyên chiến với Hoàng đế Napoleon Bonaparte của Pháp, bắt đầu mười hai năm xung đột quân sự châu Âu. Cuộc chiến này đòi hỏi không chỉ hàng triệu người mà còn hàng triệu con ngựa tham gia. Kỳ binh Anh thời kỳ đó, không giống như các đồng minh và kẻ thù ở châu Âu, chưa có hệ thống cung cấp ngựa thay thế chính quy.

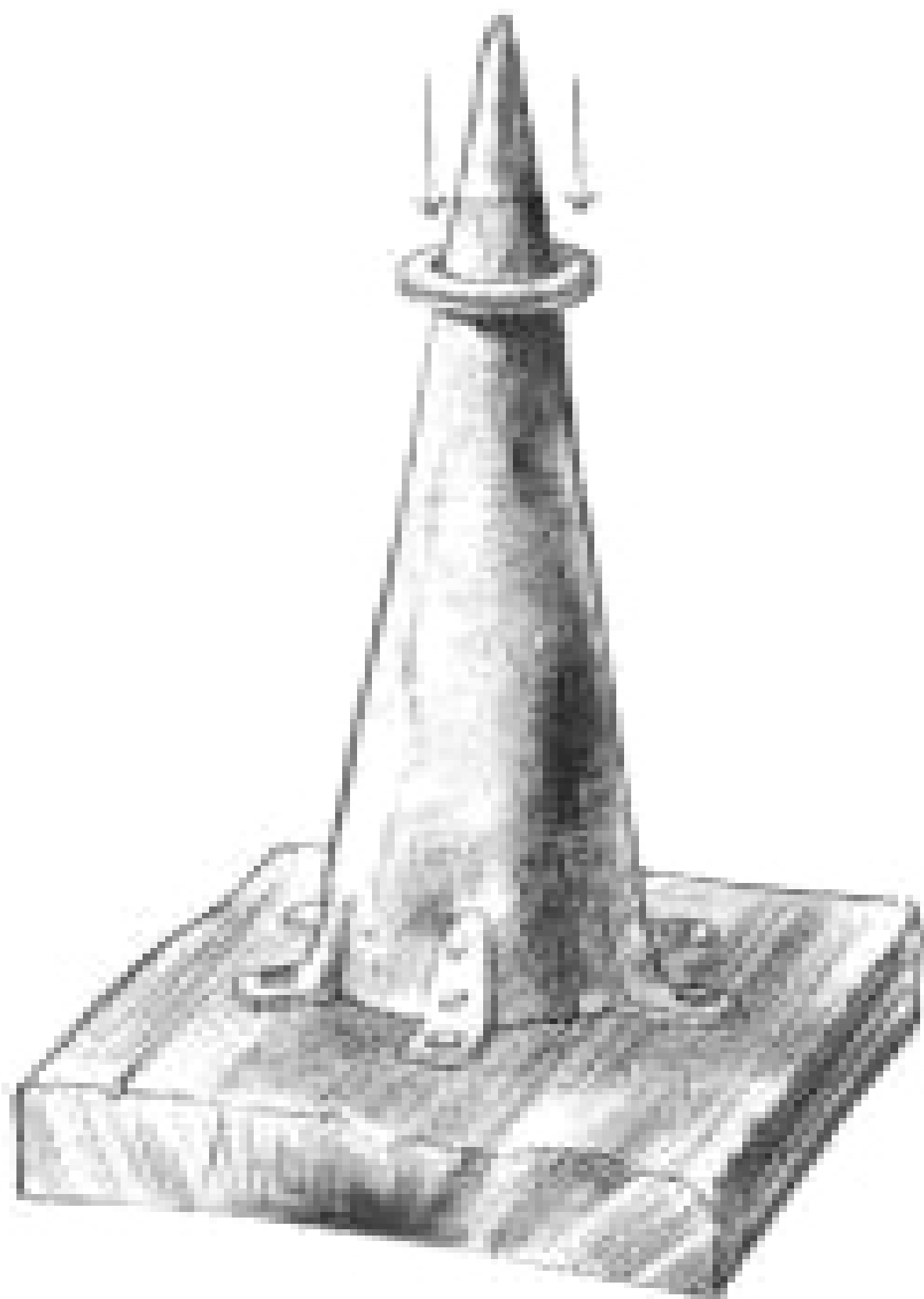


Đúc lợn sắt (gang), người ta gọi như vậy vì sắt được đổ ra khuôn đúc trông như các chú lợn con.

Thay vì duy trì chuồng trại ngựa giống và gây giống ngựa chiến, họ mua ngựa từ các trang trại tư nhân và lái buôn ngoài chợ. Chính thức trên giấy tờ, kỵ binh sẽ chỉ trả 30 bảng cho một con ngựa chiến hạng nhẹ và 40 bảng cho một con ngựa chiến hạng nặng hoặc ngựa kéo pháo. Nhưng các nhà buôn ngựa sẽ tính thêm bất cứ chi phí vận tải nào. Về tiền tuyến, một sử gia viết rằng, “việc thay quàn dễ hơn thay ngựa nhiều.”^[13] Ngựa tốt có giá từ 80 đến 100 bảng (ngày nay là 6.400 bảng, tương đương 9.000 đô-la). Chi phí cỏ khô và thức ăn gia súc tăng gấp đôi.^[14] Than và quặng sắt vừa mới trở thành hàng hóa thiết yếu trong một quốc gia công nghiệp hóa, đối

với hàng hóa dân sự cũng như hậu cần quân sự, thì chi phí vận chuyển chúng đã tăng lên đáng kể. Điều đó đã mở ra cơ hội để cải thiện việc sinh lời.

Ngay trong những năm 1790, một kỹ sư trẻ tên là Richard Trevithick Jr., sinh ở Cornwall năm 1771, đã bắt đầu phát triển một loại động cơ hơi nước khác. Trevithick, có cha là trưởng kíp, đại diện và kỹ sư mỏ, là một người khổng lồ theo tiêu chuẩn thời đó. Với chiều cao một mét chín, vạm vỡ và cơ bắp, ông khỏe mạnh đến mức thu hút được đám đông khi biểu diễn nâng một chiếc trục rền, một hình nón bằng gang nặng 450 kg. Một lần, tại một bữa ăn chung, ông đã nhấc một đồng nghiệp cao một mét tám to khỏe, xoay anh ta lộn ngược và đóng dấu giày bột của anh ta lên trần nhà. Các kỳ tích như vậy mang lại cho ông biệt danh là “Người khổng lồ xứ Cornwall.” Bên cạnh việc sở hữu sức mạnh dị thường, Trevithick còn có năng khiếu chế tạo động cơ hơi nước, thường đưa ra những cải tiến làm tăng hiệu năng của chúng. Năm 1795, khi hãng Boulton & Watt cho rằng một động cơ khí quyển do Trevithick chế tạo tại mỏ Ding Dong ở Cornwall đã sử dụng bằng sáng chế của họ cho mẫu thiết kế này, chàng kỹ sư trẻ đã phản ứng bằng cách lắp lại cỗ máy, đảo ngược xi-lanh lớn của nó, tháo nắp xi lanh và nói lên những lợi ích của bình ngưng rời của Watt.



Trục rền

Cha của Trevithick qua đời vào năm 1797 khi Richard hai mươi sáu tuổi, danh tiếng của ông lớn đến mức ông được bầu để thay thế cha mình là kỹ sư hàng đầu của ngành khai thác ở Cornish, phụ trách vận hành động cơ cho một loạt các mỏ đủ thể loại: Ding Dong, Wheal⁽⁷⁾ Bog, Wheal Druid, Hallamian, Wheal Prosper, Wheal Hope, Wheal Abraham, Dolcoath, Rosewall, Polgrane, Trenethick Wood, Baldue, Trevenen, Wheal Rose, Wheal Malkin, East Pool, wheal Seal-Hole, Cook's Kitchen, Camborne Vean. Ông cũng kết hôn vào năm đó, với Jane Harvey, cô con gái cao lớn, xinh đẹp của một chủ xưởng đúc.^[15] Richard đã phát minh ra máy bơm piston, đẩy một cái piston bằng gỗ mền xuống một ống gang để ép nước vào đường ống, thay thế dễ dàng cho cơ chế xích và xô dễ bị hỏng của các hệ thống thoát nước mỏ trước đây.^[16] (Năm sau, ông đã đảo ngược thiết kế này để tạo ra một động cơ chạy bằng áp lực nước, hữu ích khi có dòng nước chảy phía trên cao hơn: lực nước đổ xuống đẩy thanh bơm lên xuống, tạo chuyển động sinh công cần thiết.^[17])

Với những thách thức từ Boulton & Watt và việc phát minh thực tiễn, Trevithick nhìn xa hơn các ranh giới quen thuộc của động cơ khí quyển áp suất thấp đến tận chân trời chưa được khám phá của hơi nước áp suất cao, giới kỹ sư gọi là “hơi nước mạnh.” Động cơ khí quyển ngưng tụ hơi nước áp suất thấp với nước lạnh để tạo chân không dưới một piston, áp suất khí quyển sau đó sinh công cho máy. Hơi nước áp suất cao có thể đẩy piston trực tiếp, với lực lớn hơn mà không cần bộ phận ngưng tụ rời rộc kèn. Để tăng dung tích của động cơ khí quyển cần tăng kích thước của xi-lanh: động cơ lớn nhất mà Boulton & Watt từng chế tạo, vào năm 1792, có một xi-lanh đường kính 2 mét, hành trình piston 2,7 mét.^[18] Ngược lại, xi-lanh của động cơ hơi nước áp suất cao có thể nhỏ và thậm chí được làm nhỏ hơn bằng cách tăng áp suất hơi nước - với điều kiện nồi hơi của nó có thể được chế tạo đủ chắc chắn để chịu được áp suất bổ sung mà không bị nổ.

Trevithick hiểu rằng nồi hơi bên là một điều tối cần thiết. Có rất nhiều lựa chọn để cải tiến đáng kể nồi hơi cũ, như sử dụng vải gai dầu nhồi giữa các tấm sắt nhỏ được ghép đỉnh tán với nhau để làm thành nồi. Ở áp suất thấp, lớp bọc này bịt kín các tấm sắt ngăn thoát hơi, nhưng chúng sẽ rò rỉ nặng dưới áp suất của hơi nước mạnh. Sử dụng hơi nước áp suất cao trực tiếp, Trevithick sẽ không còn cần xả hơi vào một bình ngưng riêng. Nó có

thể được xả thẳng ra không khí. Nhưng ông cần phải biết động cơ của mình sẽ được và mất gì nếu làm như vậy. Ai có thể trả lời ông?

Ông tới London vào cuối năm 1796 để hầu tòa trong các vụ kiện bằng sáng chế của Watt, cũng là lần đầu tiên ông rời khỏi Cornwall.^[19] Ở London, ông kết bạn với Davies Giddy⁽⁸⁾, hai mươi chín tuổi, một nhà toán học và cựu cảnh sát trưởng Cornwall, cũng là bạn của cha Trevithick, người cũng được gọi ra làm chứng. Quay trở lại Cornwall, Giddy nhớ lại, “Vào một dịp nọ, Trevithick đến gặp tôi và gắng hỏi với sự háo hức vô cùng về những gì tôi theo tôi hiểu là sự thất thoát năng lượng khi vận hành một động cơ hơi nước, với áp lực gấp nhiều lần bình thường, nhưng thay vì ngưng tụ [hơi nước,] thì để hơi thoát ra. Tất nhiên tôi đã trả lời ngay lập tức rằng năng lượng bị mất đi sẽ là áp suất không khí.” Tức là, bất kể áp suất hơi trong động cơ của Trevithick là bao nhiêu, tổn thất duy nhất từ thiết kế của ông so với động cơ khí quyển sẽ là việc mất chân không: động cơ của ông sẽ không phải cưỡng lại chân không mà là áp suất khí quyển, 101 kPa. Và, Giddy nói thêm, sự mất mát như vậy sẽ được bù đắp một phần trong thiết kế hơi nước trực tiếp đơn giản hơn của Trevithick bằng cách loại bỏ một số yếu tố hiệu quả thấp khác của động cơ khí quyển - không dùng máy bơm không khí với ma sát, không ma sát hoặc làm tăng nước ngưng tụ từ bể chứa. Tôi chưa bao giờ thấy ai mừng hơn hờ đến vậy,” Giddy kết luận.^[20]

Trong vòng một tháng, Trevithick đã xây dựng mẫu thử nghiệm đầu tiên của mình: một động cơ để bàn bằng đồng thau sáng. Mọi người ở West Cornwall dường như đều liên quan tới trận chiến dài với Boulton & Watt, bao gồm cả Francis Basset, một nghị sĩ mà nhà viết nhật ký và nhà viết tiểu sử James Boswell đánh giá là “một người đàn ông nhỏ bé, lịch thiệp, thông minh, thạo tin và hoạt bát.” Basset gần đây đã trở thành Nam tước Dunstanville.^[21] Một ngày vào năm 1797, Giddy cùng vợ chồng nam tước đến nhà Trevithick ở Camborne để xem động cơ này vận hành. “Một nĩa hơi,” theo một người viết tiểu sử về Trevithick thời Victoria, “một cái gì đó giống như một ấm đun nước bằng sắt cứng, được đặt trên lửa; Davies [Giddy] là người đốt lò, và thổi ống bể; phu nhân De Dunstanville là người vận hành động cơ và xoay vòi nước để tiếp nhận hơi nước vào động cơ hơi nước áp suất cao đầu tiên.” Trevithick đã chế tạo một mẫu thử hai kết hợp nĩa hơi và piston trong một xi-lanh. Đặt trên bánh xe, nó “chạy quanh

bàn, hoặc quanh phòng.” Một máy thứ ba, dùng đèn c òn để đốt, đã được chở đến London như một vật chứng trong vụ kiện.^[22]

Ngày nay nghe có vẻ lạ, nhưng vào cuối thế kỷ 18 nói chung không ai nghĩ rằng bánh xe sắt chạy bằng động cơ có thể dịch chuyển một tải hàng hay đơn giản là quay tại chỗ. Tất nhiên, xe chở hàng được ngựa kéo và lăn xuống dốc nhờ sức kéo của trọng lực, nhưng trong những điều kiện đó, bánh xe chỉ đơn thuần là quay tự do: móng ngựa mới thực sự là thứ sinh công. Trong trường hợp đặc biệt của đường sắt, sự tiếp xúc trực tiếp giữa bánh xe sắt và đường sắt là tối thiểu - đối với bánh xe đường sắt hiện đại, diện tích tiếp xúc này có kích thước bằng một đồng xu - đó là lý do tại sao vận tải đường sắt rất hiệu quả và tại sao những cặp ngựa trong thời của Trevithick có thể dễ dàng kéo một đoàn xe toa chở hàng chục tấn than. Nhưng liệu một động cơ hơi nước có thể truyền động cho bánh xe sắt trên đường đất hay không, chứ chưa nói tới đường sắt, vẫn là một câu hỏi mở.

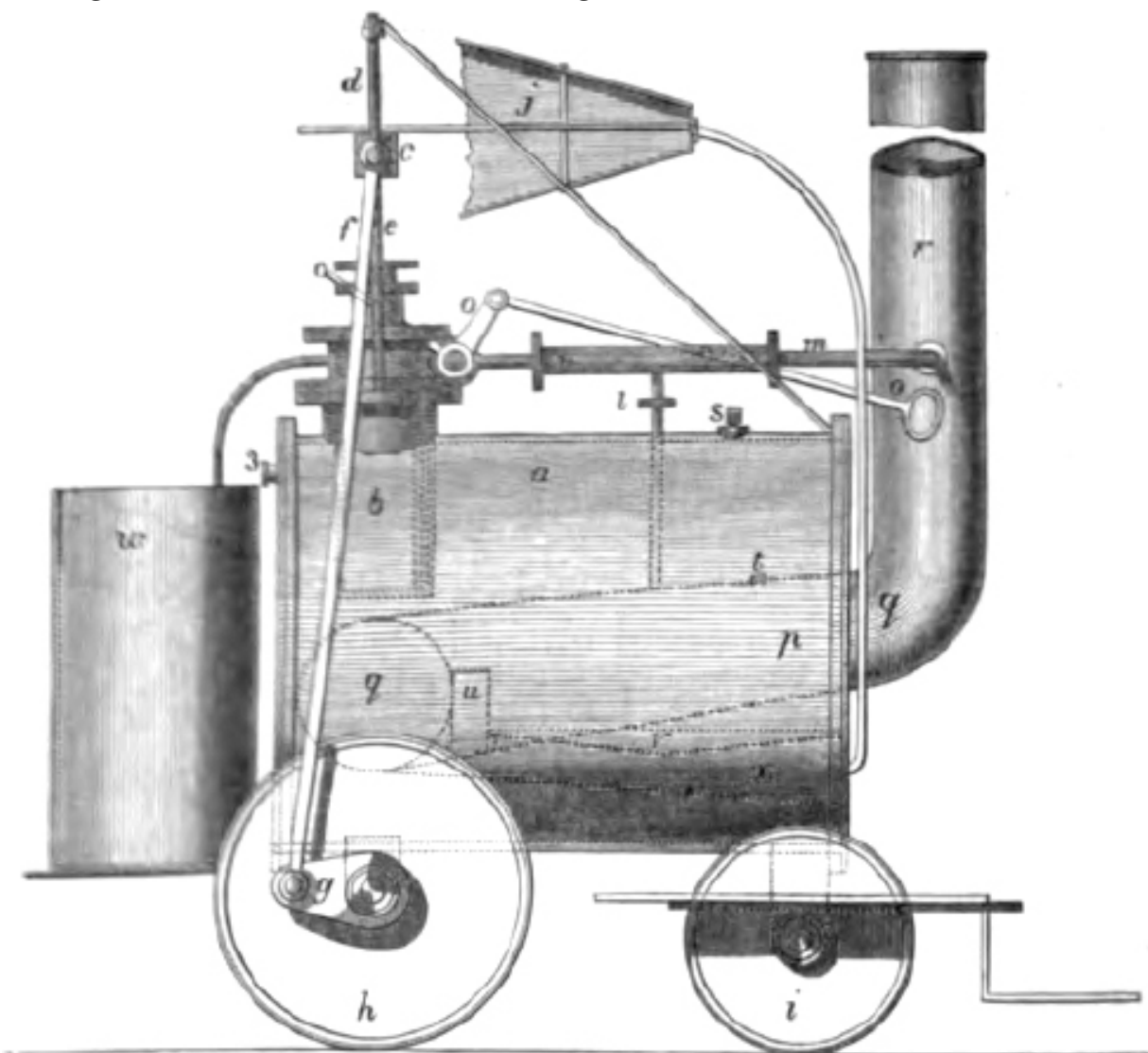
Trevithick đã trả lời câu hỏi đó mỹ mãn vào mùa hè năm 1801 bằng cách thuê Davies Giddy để giúp ông dịch chuyển một cỗ xe ngựa bằng tay. “Trevithick và bản thân tôi đã thử nghiệm trên một xe độc mã,” Giddy nhớ lại, “về khả năng bám đất của bánh xe khi di chuyển nó lên dốc.” Sau khi tháo ngựa ra, họ đã cố quay bánh xe bằng tay để khiến cỗ xe nhúc nhích. “Chúng tôi nhận thấy dù đường có dốc thế nào đi chăng nữa thì các bánh xe cũng không bị trượt đi,” Giddy kết luận.^[23]

Câu hỏi đó sẽ được đưa ra một lần nữa, và các nhà cải cách đường sắt sẽ phải chứng minh với các nhà đầu tư tỉền rằng hệ thống bánh xe và đường ray sắt thực sự hiệu quả. Nó ảnh hưởng đến việc xây dựng đường sắt của Anh trong những thập niên tiếp theo: độ dốc của đường sắt của Anh sẽ nông hơn, và vòng rộng hơn, so với đường sắt Mỹ được xây dựng sau này trên địa hình g ò ghềnh hơn.^[24] Ngay cả trên các động cơ đường sắt đầu diesel hiện đại, một cái phễu chứa cát tinh ở phần mũi của đầu tàu (“mũi đổ cát”) cho phép kỹ sư rải cát lên phần đường ray ngay trước bánh xe khi cần cải thiện độ bám.

Sau khi thí nghiệm với những động cơ mẫu và độ bám đường, Trevithick đã tiến hành xây dựng một đầu máy đường bộ thông thường chạy bằng hơi nước mạnh. Động cơ này có kích thước tương đương một chiếc ô tô hiện đại nhưng hình trụ, có một piston thẳng đứng duy nhất đi vào từ đỉnh tới đầu đối diện với ống khói và một buồng đốt bằng sắt tinh

luyện cùng ống dẫn hơi được lắp bên trong. Hơi nước ở áp suất hơn 400 kPa sẽ truyền động cho piston thẳng đứng, đi quanh ống cấp nước để làm nóng nước trước rồi đi lên tới nửa chừng của ống khói bằng sắt tinh luyện để vận hành như một buồng hơi nước, hút không khí qua lò để đốt nóng hơn và khói bốc ra. (Khói đen từ một cỗ máy hơi nước là khói than; khói trắng là hơi nước.)

Trevithick - cư dân địa phương Cornwall gán cho biệt danh Chỉ huy Dick - đã thử nghiệm động cơ đường bộ vào đêm Giáng sinh năm 1801, một người có mặt nhớ lại, “trên đường cái...”



Mô phỏng đầu máy đường bộ đầu tiên Trevithick, năm 1801. Bể chứa nước ở bên trái. Piston hơi có gờ, đặt thẳng đứng phía trên thân trái động cơ, đẩy các bánh xe lớn thông qua các thanh nối. Các đường đứt nét trên thân động cơ cho thấy buồng đốt

hình chữ u bên trong, mở sang phải bên cạnh ống khói. Đường ống nằm phía trên và song song với thân động cơ từ piston tới ống khói sẽ dẫn hơi nước thừa để hút không khí qua buồng đốt. Thợ đốt lò đứng trên bục bên phải để xúc than từ một toa xe than, không được vẽ trong hình, vào buồng đốt mở, và điểu khiển các bánh xe nhỏ hơn với cần điểu khiển - thanh màu đen nhô ra khỏi mép bục, bên phải. (Tay cần hình bầu dục đồ bóng lên ống khói là van tiết lưu để kiểm soát tốc độ động cơ.) Tuy nhiên, động cơ thực tế dùng khung gỗ với bộ đứng lớn hơn.

Khi chúng tôi thấy rằng, Chỉ huy Dick đang vận hành động cơ, chúng tôi kéo tới càng đông càng tốt; có lẽ bảy hoặc tám người. Đó là một ngọn đũa dốc đất hơi cứng từ Weith dẫn lên Camborne Beacon, nhưng nó cứ phóng đi như một cánh chim nhỏ.”^[25] Nó lao đi như một con chim nhỏ đi đến nhà của Nam tước de Dunstanville, nhưng, khi vòng qua một bức tường, động cơ đâm vào một con mòng biển và bị lật. May mà không ai bị thương. Giddy nhớ lại chuyện sau đó:

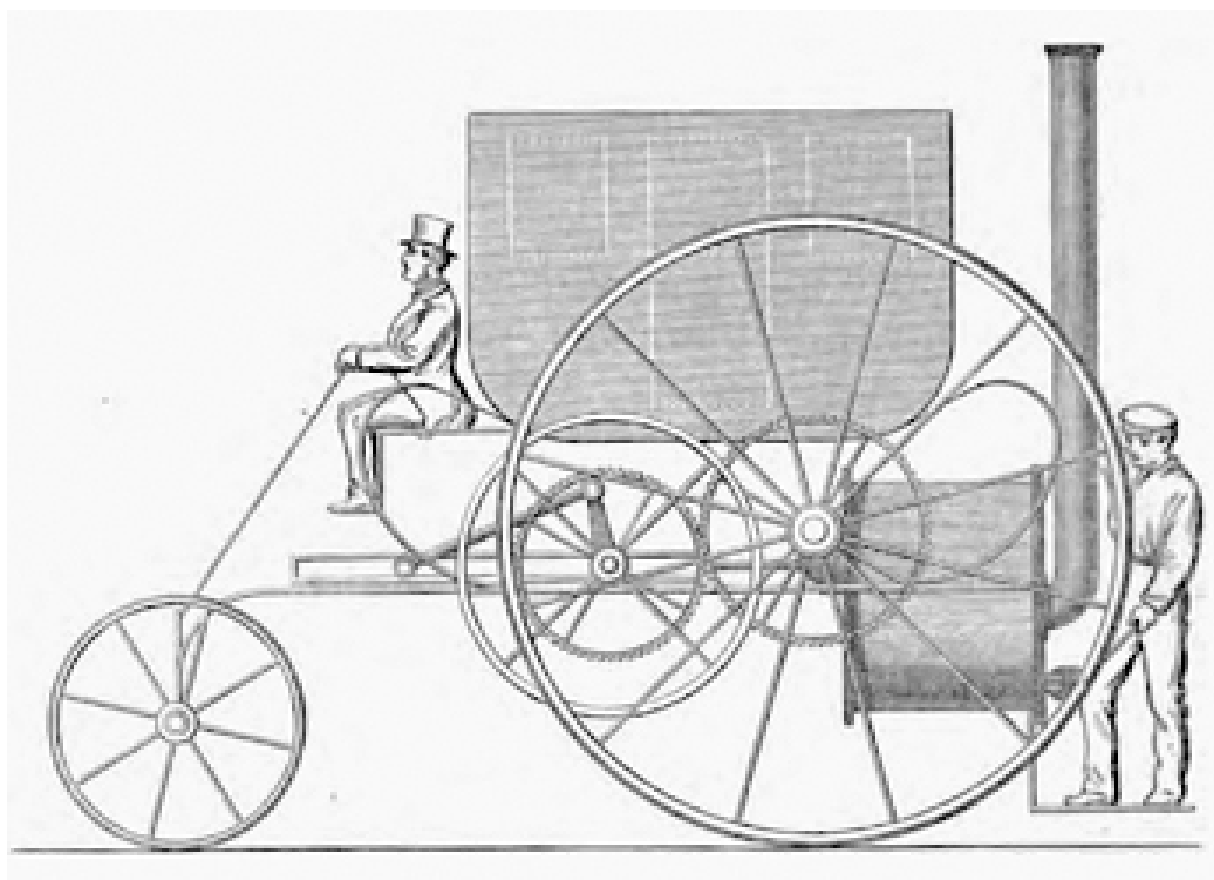
Cỗ xe được che chắn tạm, và mọi người tụ tập ở khách sạn, và an ủi trái tim của họ bằng một con ngỗng quay và đồ uống, khi mà động cơ bị bỏ quên, nước sôi lên, nĩa hơi nóng đỏ lên, và cái gì cháy được đầu ra tro hết dù là động cơ [hay lán che tạm].^[26]

Không nản lòng, Trevithick cùng anh họ Andrew Vivian đã tới London hai tuần sau đó, vào giữa tháng 1 năm 1802, để nộp đơn xin cấp bằng sáng chế đờng tác giả, mang trong mình thư giới thiệu từ Nam tước de Dunstanville và từ Giddy. Những lá thư đã giúp họ gặp gỡ với nhà hóa học Humphry Davy và nhà vật lý người Mỹ, ông Benjamin Thompson - Bá tước Rumford - cùng các nhân vật đáng chú ý khác. Ai đó, có lẽ là luật sư bằng sáng chế của họ, đề nghị họ làm một cỗ xe chạy bằng hơi nước để trưng bày ở London. Bằng sáng chế cho “Phương pháp cải tiến việc lắp ráp động cơ hơi nước và ứng dụng trong việc truyền động cho xe chở cùng các mục đích khác,” đã được cấp vào ngày 24 tháng 3 năm 1802.^[27]

Tại Coalbrookdale vào mùa hè đó, Trevithick đã thiết kế và lắp ráp một động cơ với áp suất vận hành dự kiến không dưới 1.000 kPa, mức áp suất nĩa hơi vượt xa mọi thứ mà bất kỳ ai dám thử trước đây. Lò hơi gang này chỉ có đường kính 1,2 mét, Trevithick đã viết cho Giddy vào tháng 8 năm 1802, nhưng dày 3,8 cm. Xi-lanh của nó có đường kính chỉ 18 cm. “Các kỹ

sư quanh đây,” ông chế giễu, “tất cả bọn họ đều tuyên bố một xi-lanh nhỏ như vậy không thể nào nâng nước lên đỉnh máy bơm... Họ liên tục tới gặp tôi, vì tất cả họ đều nói rằng họ sẽ không bao giờ tin trừ phi được chứng kiến tận mắt, và không ai tin lời thuật lại của người hàng xóm ngay cả khi anh ta thề trước mặt họ.” Họ đã đến, đã thấy, và “sau một thời gian ngắn, họ lên đường về nhà với sắc mặt lạnh tanh và cái lưỡi câm lặng.”^[28]

Đến tháng 2 năm 1803, một xưởng đúc đã đúc một xi-lanh bằng sắt tinh luyện và nồi hơi cho cỗ xe ba bánh dự tính cho triển lãm ở London như Trevithick và Vivian được khuyến. Xi-lanh của động cơ sẽ có đường kính chỉ 14 cm và cố định theo chiều ngang thay vì theo chiều dọc, giúp cho chuyển động mượt mà hơn nhiều. Với nồi hơi không lớn hơn trống định âm và với các bộ phận bằng sắt tinh luyện thay vì gang, toàn bộ động cơ sẽ chỉ nặng 272 kg. Tại London, thợ đóng xe William Felton của công ty Leather Lane đang làm một mẫu xe thanh lịch, đặt trên phần nhíp giữa các bánh xe lớn 2,4 mét và được thiết kế để chở tám đến mười người. Động cơ và nồi hơi được vận chuyển bằng đường biển từ Falmouth đến London vào tháng 8 để được lắp ráp tại xưởng của Felton.^[29]



Vào mùa thu năm 1803, cỗ xe chạy bằng hơi nước của Richard Trevithick đã hoàn thành và được thử nghiệm.^[30] Nó có giá tổng cộng là 207 bảng (hôm nay là 17.000 bảng, hoặc 25.000 đô-la).^[31] Trong sáu tháng tiếp theo, cỗ xe đi lang thang khắp các đường phố trong thành phố, khiến thường dân London thích thú và khiến lũ ngựa sợ hãi.^[32] Humphry Davy đã đặt tên cho nó là “con R ồng của Trevithick.”^[33]

Hầu như chẳng còn các câu chuyện về những cuộc phiêu lưu của chiếc xe hơi nước đầu tiên rong ruổi quanh London. Kỳ lạ thay, các tờ báo thời đó hầu như không đưa tin gì về hoạt động của nó, phớt lờ cho trí tưởng tượng của người đời sau. Felton, người đóng xe, cùng các con trai của ông đã hăm hở đi đầu khiến cỗ xe ngay ngày đầu tiên xuất xưởng, một phần thưởng thêm cho công lao lắp ráp của họ. Vivian nhớ lại chuyến đi chơi đầu tiên đó khi cỗ xe R ồng lăn dọc từ Leather Lane... qua phố Liquorpond vào đường Grays Inn cạnh Lord’s Cricket Ground đến Paddington và Islington rồi vòng về Leather Lane.”^[34] Chuyến đi này rất chói tai mặc dù cỗ xe có nhíp, vì các bánh xe truyền động không thể nhún; làm như vậy sẽ làm long bộ truyền động. Đường phố tốt nhất thời đó cũng chỉ là đường đá cuội.^[35]

Một quý bà tên Humblestone nhớ là đã thấy cỗ xe R ồng đi qua Phố Oxford, rõ ràng là một buổi thử nghiệm trước công chúng. Các cửa hàng đã bị đóng cửa trong dịp này và đường phố sạch bóng xe ngựa qua lại. Người dân dọc tuyến đường đã cổ vũ và vỗ khăn tay.^[36] Những người đánh xe ngựa ở London thì không. Họ đã nhận ra sự nguy hiểm của công nghệ mới đối với việc làm của họ. Họ “ném bắp cải và trứng thối vào cỗ xe,” bà Humblestone nhớ lại.^[37]

Trevithick là một bậc thầy về động cơ, nhưng ông chưa tìm ra phương pháp đi đầu hướng đáng tin cậy. John Vivian, cháu trai mười chín tuổi của Andrew Vivian, nhớ lại một ngày bắt đầu từ 4 giờ sáng khi lái cỗ xe R ồng dọc theo đường Tottenham Court và sau đó là đường New Road, nơi một con kênh song song với con đường, nghĩ rằng con kênh này sâu đến mức nào nếu họ chẳng may mất lái rơi vào:

Tôi đang lái, còn Chỉ huy Trevithick và một người khác phụ trách động cơ. Chỉ huy Dick đến cạnh tôi và nói, “Cỗ xe sẽ ổn thôi.” “Vâng,” tôi đáp, “cháu

nghĩ rằng chúng ta nên đến Cornwall.” Cổ xe đang đi năm hoặc sáu dặm một giờ, và Chỉ huy Dick kêu lên: “Gạt cần lái xuống, John!” và trước khi tôi kịp biết chuyện gì đang xảy ra, Chỉ huy Dick đã nhào vào tay lái và chúng tôi đã phá tan sáu hoặc bảy thước hàng rào của một khu vườn. Một người nhào qua cửa sổ, và kêu lên, “Các ông đang làm cái quỷ gì vậy? Cái thứ quỷ gì kia!”^[38]

Đi đến Cornwall chỉ là nói cho vui thôi, chứ họ cũng chẳng thể thực hiện cuộc hành trình. Những con đường quá xấu.

Các chuyến đi biểu diễn dài ngày của đầu máy hơi nước đường bộ thông thường của Trevithick đã không thu hút nhà đầu tư nào quan tâm đến việc hỗ trợ phát triển tiếp. Người khổng lồ xứ Cornwall kết luận rằng tương lai của động cơ hơi nước không phải là vận chuyển người mà là máy móc công nghiệp và vận chuyển than. Ông dùng động cơ của mình để khoan đại bác đồng, bơm nước và thổi lò nung.

Dọc theo sông Thames ở Greenwich, một trong những động cơ Trevithick đã được lắp đặt để thoát nước cho móng nhà. Một ngày vào tháng 9 năm 1803, nĩa hơi phát nổ, ném những khối gang lớn văng xa 125 thước. Trevithick đã viết cho Giddy báo tin rằng cậu bé được chỉ định trông động cơ đã khóa van tiết lưu, để động cơ cho một trong những người lao động trông, và đi ra ngoài để bắt lươn trong bể nước ở móng nhà. Động cơ bắt đầu tăng tốc, người lao động dừng nó lại đột ngột mà không mở van, và nó nổ tung. “Ba người chết ngay tại chỗ,” Trevithick kết luận, “và một người khác đã qua đời vì bị thương nặng.”^[39] Mặc dù sai sót của con người gây ra tai nạn, Boulton và Watt đã coi nó như bằng chứng về sự nguy hiểm của hơi nước áp suất cao. “Họ đã làm hết sức mình để loan tin vụ nổ cả trên báo và thư riêng theo cách rất khác với những gì thực sự đã xảy ra,” Trevithick phàn nàn với Giddy. Trong tương lai, ông nói với bạn mình, ông sẽ chế tạo động cơ với hai van an toàn và thiết bị đo hơi nước thủy ngân, “để máy đo nổ thay thế trong trường hợp hai van bị tắc... Một lỗ nhỏ sẽ xả ra một lượng lớn hơi nước ở áp suất đó.”^[40] Nổ nĩa hơi đã ngăn trở sự phát triển của động cơ hơi nước vào cuối thế kỷ 19, cho đến khi thép thay thế sắt trong thiết kế.

Thậm chí trước cuộc trình diễn ở London thì Trevithick đã thiếu vốn. Một doanh nhân giàu có, Samuel Homfray, chủ xưởng sắt Penydarren

Ironworks tại Merthyr Tydfil ở South Wales, đã giải cứu ông khi mua một phần tư bằng sáng chế động cơ áp suất cao với giá 10.000 bảng (ngày nay là 800.000 bảng, tương đương 1,1 triệu đô-la).^[41] Nếu Boulton và Watt không nhìn thấy tương lai của hơi nước áp suất cao thì Homfray lại có thể.

Trevithick đã chế tạo một số động cơ hơi nước cố định tại Penydarren, sau đó Homfray đồng ý hỗ trợ ông phát triển một đầu máy hơi nước áp suất cao. Homfray đặc biệt quan tâm đến việc sử dụng động cơ hơi nước trên tuyến đường mới kéo dài từ Merthyr đến Abercynon, nơi một bến tàu trên sông Cynon cho phép thuyền trên kênh đi vào sông Taff. Tuyến đường này đã được những người chủ xưởng sắt xứ Wales xây lên, những người đã xây con kênh dọc theo tuyến đường từ Merthyr tới Cardiff. “Kênh đào không chỉ được xây thành công,” sử gia Anthony Burton ghi nhận, “mà là một thành công mỹ mãn. Với 49 âu tàu trong vòng 24 dặm đường thủy, sớm thôi nó sẽ thường xuyên đông nghìn nghịt.”^[42]

Giải pháp của họ cho hệ thống âu tàu đòi đầu này đánh dấu một bước tiến lớn nữa trong sự phát triển của đường sắt. Quốc hội đã cho phép “có những nhánh đường sắt kết nối” trong phạm vi 6 km quanh kênh. Mục đích của nó là cho phép tiếp cận trực tiếp kênh đào từ bất kỳ mỏ hoặc nhà máy nào trên tuyến đường. Lợi dụng ngôn từ mơ hồ, nhóm chủ xưởng sắt đã lắp một đường ray dài 15 km, đường ray Merthyr, mở cửa vào năm 1802. Nó có phạm vi trong vòng 6 km của kênh nhưng song hành với con kênh từ Merthyr đến Abercynon, từ đó tránh được sự tắc nghẽn trên kênh.^[43] Một cách vô ý, họ đã thiết lập một thử nghiệm kinh điển về tính hiệu quả của hai công nghệ vận tải khác nhau: vận tải đường thủy bằng trọng lực so với vận chuyển trên mặt đất bằng động cơ hơi nước.

Một số công nghệ thứ cấp cũng được kết hợp với nhau tại thời điểm này. Hầu hết đường ray giờ được trang bị đường ray bằng gang đặt trên các khối đá. Chúng chưa được liên kết với những gì người Mỹ gọi là “crosstie” và người Anh gọi là “sleeper,” nghĩa là thanh tà vẹt, vì không gian giữa các đường ray phải được bỏ trống như một con đường cho ngựa có thể kéo xe. Bản thân các đường ray giờ đã có gờ, với một vành nổi ở cạnh trong để giữ các bánh xe sắt không bị trật. Việc làm gờ cho đường ray hay bánh xe là lý do tại sao đầu máy hơi nước không cần tay lái: gờ này sẽ đi đầu hướng các bánh xe đi cùng nhau.

Richard Crawshay, một chủ xưởng sắt người xứ Wales khác, sở hữu quyền cổ đông kiểm soát kênh đào. Không ngạc nhiên khi ông này khinh thị động cơ hơi nước. Ông tin rằng một đầu máy hơi nước chịu tải trọng sẽ chỉ quay bánh xe mà chẳng di chuyển được. Samuel Homfray, người tài trợ cho Trevithick, ngoài việc là đối thủ cạnh tranh của Crawshay trong ngành buôn sắt, còn là một người nghiện cờ bạc. Ông đặt cược với Crawshay 500 đồng guinea - tổng cộng hai bên là 1.000 guinea (một guinea đổi được 21 shilling, tương đương 88.000 bảng ngày nay, hoặc 126.000 đô-la) - rằng đầu máy hơi nước có thể làm việc chỉ ít là tương đương một con ngựa: kéo mười tấn sắt dọc theo tuyến đường ray từ Penydarren đến bến Abercynon và trả lại toa xe trống ở Penydarren, tổng quãng đường di chuyển khoảng 30 km.^[44]

Trevithick đã nhận kèo cá cược này. Ông đã chế tạo một động cơ với một xi-lanh đường kính 21 cm có hành trình piston là 137 cm, xi-lanh được đặt vào n ồi hơi để giữ nhiệt độ. Hơi nước đẩy piston r ồi đi qua ống khói, hút không khí qua bu ồng đốt để lửa nóng hơn. Như các động cơ trước đây của Trevithick, một bánh đà lớn được gắn ở một bên mang piston qua điểm hành trình cuối của piston, điểm mà ở tốc độ thấp hơn đôi khi có thể bị mắc. Động cơ này trông rất kỳ quặc, với một con trượt kết nối cán piston ở phía bên phải với bánh đà ở phía bên trái và đến các bánh răng dẫn động bánh xe. Con trượt này “đã đi qua dịch lại như chiếc kèn trombone,” Burton viết. Ông tự hỏi “làm sao để ai đó có thể khởi động động cơ mà không bị đập bay đầu.”^[45]

Đầu tháng 2 năm 1804, Trevithick đã viết cho Giddy để chia sẻ sự phấn khích của mình. “Thứ Bảy tuần trước, chúng tôi đã thắp bu ồng đốt của đầu máy Tram Waggon và làm việc mà không cần bánh xe để thử động cơ,” ông nói với bạn mình, “và thứ Hai chúng tôi đặt nó lên đường ray. Nó hoạt động rất tốt và chạy lên xuống đ ầu rất dễ dàng, rất dễ vận hành... Kèo cá cược sẽ không ngã ngũ cho đến giữa tuần sau đó.” Năm ngày sau, Trevithick phản h ồi. Ông đã vận hành đầu máy Tram Waggon, nhiều lần và nó hoạt động “rất tốt, và dễ vận hành hơn ngựa rất nhiều. Chúng tôi mới thử chở mười tấn [sắt] một chuyến, nhưng tôi chắc chắn có thể dễ dàng chở 40 tấn một chuyến, vì mười tấn không thấm vào đâu với động cơ.”^[46]

Cuối cùng Crawshay và Homfray đã đến để chứng kiến cuộc thử nghiệm, có cả một đám đông khán giả nữa, nhiều người muốn thử cưỡi

trên những toa xe chở gang. Tự tin như mọi khi, Trevithick để ai thích thì cứ ngẩng lên. “Chúng tôi đã chở mười tấn sắt, năm toa xe và 70 người trưởng thành trên toàn bộ hành trình,” ông viết cho Giddy vào hôm sau. Tổng đoạn đường dài 14 km đó họ phải chặt cây và loại bỏ những tảng đá lớn chặn đường mất bốn giờ. Khi họ chạy thẳng thì đi được với vận tốc 8 km/h. Trevithick rất vui khi thắng cược nhưng thậm chí còn vui hơn nữa khi khiến những kẻ hoài nghi phải trắng mắt: “Quý ông đã đặt cược 500 guinea với chúng tôi, đã ngẩng cùng chúng tôi trên suốt hành trình và tỏ ra hài lòng khi thua cược. Trước đây công chúng gọi tôi là một kẻ mưu mô, nhưng bây giờ giọng điệu của họ đã thay đổi rất nhiều.”^[47]

Hôm diễn ra cuộc thử nghiệm là thứ Ba ngày 21 tháng 2 năm 1804, đánh dấu lần đầu tiên một đầu máy hơi nước chạy trên đường ray kéo một đoàn xe chở hàng nặng - khoảng 25 tấn bao gồm động cơ, sắt, toa xe và người.

Tuy nhiên, dường như chỉ Trevithick và Homfray là đánh giá thử nghiệm này thành công. Mặc dù động cơ hoạt động đủ tốt, trọng lượng của nó lớn hơn tải trọng cho phép của đường ray làm từ gang. “Động cơ chạy rất tốt,” một trong những người tham gia thử nghiệm nhớ lại, “nhưng trọng lượng của nó thường xuyên làm hỏng các tấm ray.”^[48] Mối lo ngại thường trực rằng bánh xe sắt sẽ thiếu độ bám trên đường ray sắt khiến họ tìm cách tập trung trọng lượng động cơ lên chỉ bốn bánh xe. Giddy đã đánh giá vấn đề này như sau: “Trước áp lực lớn này, một lượng lớn đường ray bị hỏng, nên về tổng thể thì thí nghiệm này bị coi là thất bại.”^[49]

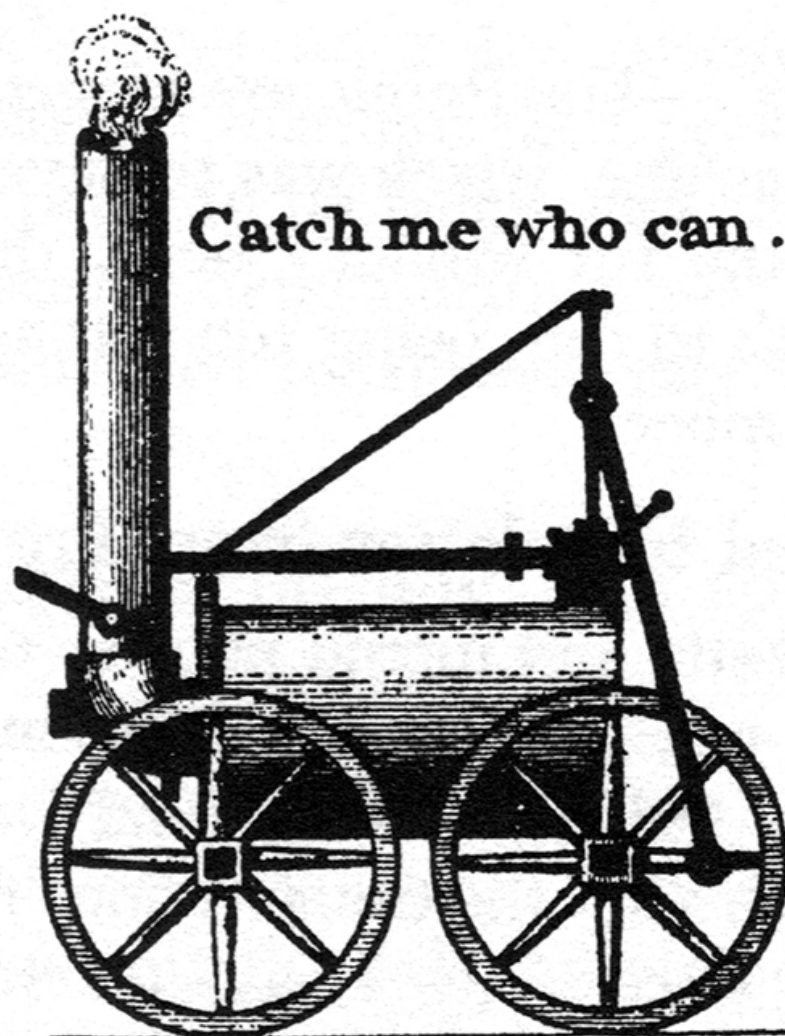
Trong vài năm tiếp theo, Trevithick và Homfray đã quá bận rộn sản xuất và bán động cơ hơi nước áp suất cao nên chẳng để tâm đến chuyện đường ray hay đường sắt. Các mỏ ở Anh tiếp tục được đào sâu hơn để lộ ra các mạch than hoặc quặng sắt mới; sức ngựa trở nên quá đắt tiền lại không đủ khả năng bơm nước hay khoáng sản ở những tầng sâu hơn. Động cơ hơi nước của Trevithick - nhỏ hơn, hiệu quả hơn và rẻ hơn so với động cơ khí quyển cùng kênh của Boulton & Watt - đã tìm được thị trường ổn định. Chúng được gọi là “Động cơ Kỳ cục”: một cái tên được vay mượn từ những vòng quay vui vẻ do ngựa kéo trông rất kỳ cục. Đến năm 1803, Trevithick đã chế tạo được 12 động cơ quay. Những thợ khác ở thành phố Coalbrookdale, Manchester, Liverpool, Bridgenorth, Newcastle, London và xa hơn nữa theo ông đến năm 1808.^[50] Ông đã chế tạo động cơ để nạo vét

sông Thames và cũng thử sức trong việc đào hầm dưới dòng sông rộng lớn đó. Trevithick đã đào được 300 mét đường thẳng và trong phạm vi 60 mét xa bờ trước khi gặp phải thứ gọi là “cát lún” ập vào và nhấn chìm cả đội nhân công. Các nhà đầu tư đã nghe tư vấn từ các Kỹ sư Hoàng gia, những người không có kinh nghiệm về đào hầm. Họ kết luận rằng không ai có thể đào đường hầm dưới sông Thames, và không ai làm được cho đến khi Marc Isambard Brunei thành công vào năm 1843.

Định cư ở London với gia đình vào năm 1808, Trevithick một lần nữa thử cho ra đời động cơ đường sắt mới. Lần này, ông đã sử dụng một động cơ nạo vét nhỏ theo thiết kế của riêng mình: một đầu máy đơn giản tuyệt vời với một xi-lanh thẳng đứng dẫn động các bánh sau thông qua các thanh nối. Philippa, em gái của Giddy, được cho là đã đặt tên cho cỗ máy này một cách dí dỏm, cái tên mà Trevithick đã mượn: cô nói rằng mục đích của động cơ là “Ai bắt được tôi nào”. Từ việc quảng bá động cơ hơi nước của mình cho công việc, Trevithick đã quyết định thử quảng cáo nó cho vui, mục quảng cáo trên tờ *London Times* ngày 19 tháng 7 năm 1808 nói rằng ông sẽ bắt đầu triển lãm *Ai bắt được tôi nào* vào hôm đó lúc 11 giờ; tit quảng cáo là “Cuộc đua động cơ hơi nước.”^[51] Trevithick đã đưa ra một kèo cá cược, theo tin từ một tờ báo khác ở London, rằng *Ai bắt được tôi nào* có thể chạy đua 24 tiếng với bất kỳ con ngựa nào trên vương quốc.”^[52]

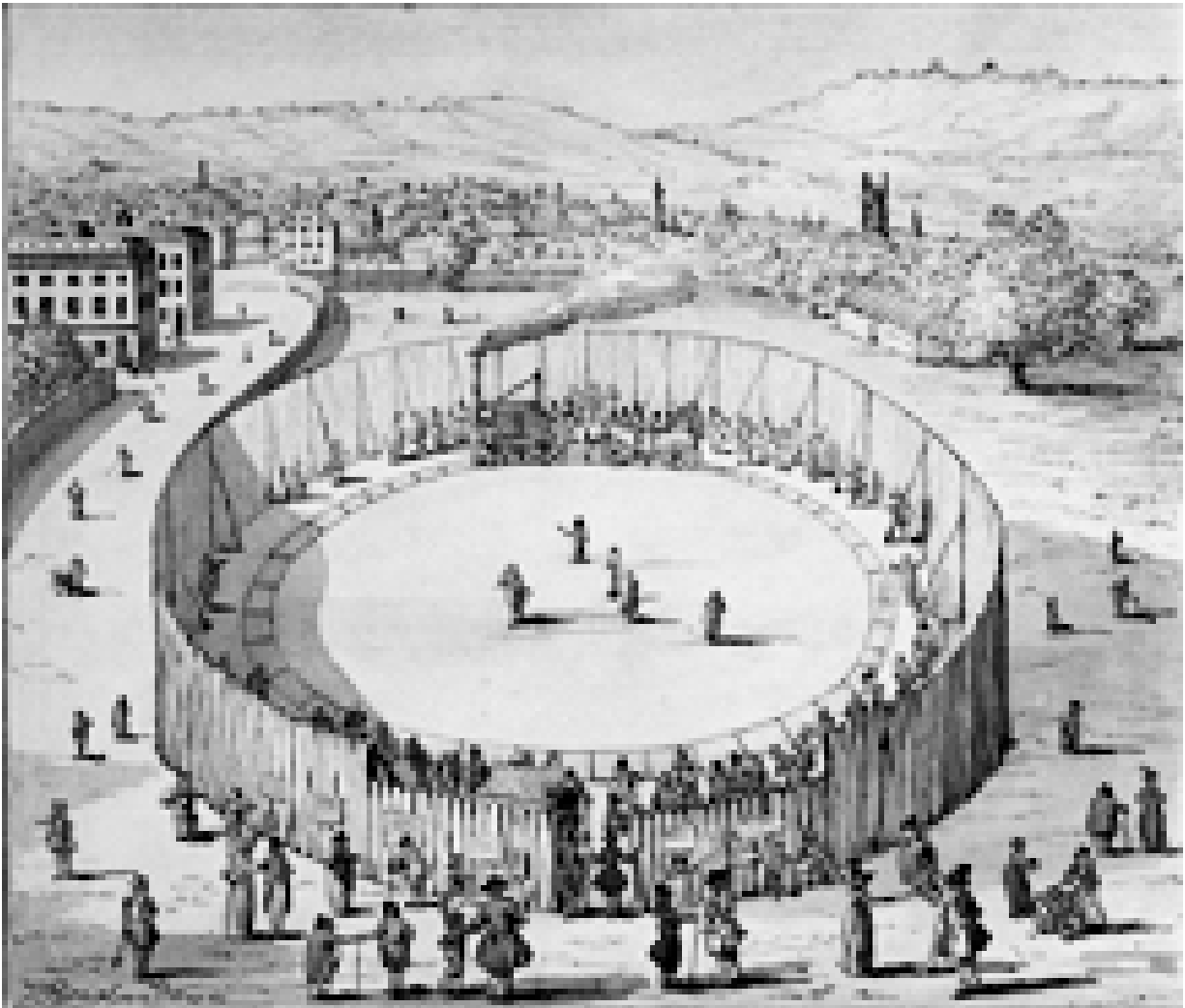
Ông đã xây một đường đua hình tròn khoảng 30 mét trên vùng đất trống tại nơi hiện là phố North Gower và đường Euston, gần Wellcome Trust; bao quanh nó bằng một hàng rào gỗ cao; và chuẩn bị bán vé cho những chuyến đi trên cỗ xe mui trần gắn động cơ. Tuy nhiên, cuộc trình diễn của ông đã không mở cửa được vào ngày 11 tháng 7.

TREVITHICKS.
PORTABLE STEAM ENGINE.



**Mechanical Power Subduing
Animal Speed.**

Một vé xem trình diễn



“Do nền đất quá mềm,” Trevithick đã viết thư kể cho Giddy vài tuần sau, “và động cơ nặng khoảng 8 tấn đã làm lún và phá hỏng một số lượng lớn gỗ đệm dưới đường ray, cho nên tôi đã thu hồi toàn bộ gỗ và sắt, và đặt những thanh gỗ từ 200 đến 225 cm² xuống dưới đất và xây lại gần như toàn bộ con đường, giờ thì nó có vẻ rất chắc chắn, chúng tôi đã kiểm chứng từng phần một khi đặt gỗ xuống, bằng cách cho cỗ máy trực tiếp chạy qua.”^[53]

Sau khi nền đường đã được gia cố, Trevithick bắt đầu bán vé tham quan giá một shilling (ngày nay là 4 bảng hoặc 6 đô-la). Một nhà quan sát đáng tin cậy kiêm kỹ sư tên John Hawkins nhớ lại chuyến đi của mình có vận tốc khoảng 19 km/h - tương đương ngựa đi nước kiệu - và nghe

Trevithick tuyên bố *Ai bắt được tôi nào* có thể chạy 32 km/h hoặc nhanh hơn trên đường thẳng.

Hawkins gọi nó là “chuyến đi cho những người không quá nhút nhát,” ám chỉ nhiều khách tham quan đã không dám đi. Ngồi trong một cỗ xe mui trần được kéo bởi một cỗ máy sắt đen kỳ cục, khò khè, phun khói với ngọn lửa trong bụng, cảm nhận một lực ly tâm lạ lẫm quanh đường ray tròn uốn lượn liên hồi, vừa lo sợ tai nạn hoặc cháy nổ, thì ai cũng dễ hiểu vì sao hầu hết mọi người tỏ ra e dè. Màn trình diễn đó kéo dài được vài tuần không trục trặc trước khi đường ray bị hỏng, khiến cỗ xe bị trật bánh và lật nhào, một phần tại đường mềm quá nữa.” Đáng tiếc là không còn tài liệu nào về cuộc thi chạy 24 tiếng giữa đầu máy Trevithick với ngựa đua.

Sau London và *Ai bắt được tôi nào*, Richard Trevithick tiếp tục chìm trong khó khăn cho đến năm 1816, ông bỏ lại người vợ chịu đựng mòn mỏi và con cái để lên đường đến Nam Mỹ thử vận may khai thác mỏ bạc bị ngập nước ở Peru. Ông đã ra đi 11 năm dài, thắng to rồi lại mất tất cả, trở về nước Anh không một xu dính túi, sống đủ lâu để chứng kiến hệ thống đường sắt được thiết lập ở Anh, và qua đời trong nghèo khó vào năm 1833.

Một lần nữa, cơ sở hạ tầng đã hạn chế tốc độ phát triển của công nghệ mới. Nhưng đến thập niên thứ hai của thế kỷ 19, các thanh ray sắt uốn được đã bắt đầu thay thế gang giòn cho các đường ray của nước Anh, và tà vẹt bằng gỗ hoặc đá đã củng cố nền đường cho đầu máy xe lửa siêu trọng. Với những cải tiến như vậy, đường đua vòng tròn Trevithick trên khu đất trống ở London sẽ mở ra một mạng lưới giao thông vận tải nhanh, đáng tin cậy - nhưng không phải trước khi các nhà phát minh và kỹ sư của nó chịu đựng được những thử thách và thử nghiệm kéo dài đến tận cùng.

VẤN CHƯA THỂ CHẾ NGỰ HƠI NƯỚC!

Năm 1800 là bước ngoặt của một thế kỷ mới, năm bản lề của nước Anh giữa nền kinh tế hữu cơ cũ và nền kinh tế mới của ngành công nghiệp chạy bằng nhiên liệu hóa thạch. Ở Mỹ, với dân số 5,3 triệu người, chỉ bằng một nửa so với Anh, một thế hệ dân di cư mới bắt đầu tiến về phía tây trên những chiếc xe ngựa kéo. Các dòng sông mới được khám phá trở thành đường cao tốc cho họ: năng lượng hơi nước trước nhất sẽ chạy tàu hơi nước. Ngược lại, nước Anh phát triển ồ ạt động cơ hơi nước và kênh đào, nhìn xa hơn xe ngựa và vận tải đường thủy để nhắm đến đường sắt.

“Dùng động cơ hơi nước có nghĩa là than có thể được khai thác để cung cấp cơ năng dễ dàng như nhiệt năng,” sử gia kinh tế E. A. Wrigley đã viết, “từ đó vượt qua rào cản cuối cùng còn lại của việc áp dụng năng lượng nhiên liệu hóa thạch cho tất cả các quy trình sản xuất chủ chốt.”^[1] Đối với William Blake, nguồn cơ năng mới phát hiện, truyền động cho dây đai và máy dệt, có thể lên đến đỉnh điểm trong “các nhà xưởng hắc ám của Quỷ Satan.” Sự gia tăng liên tục của dân số Anh, từ 6 triệu người vào năm 1700 lên 10,5 triệu người vào năm 1801, cho ta một kết quả lạc quan hơn. Than cung ứng khoảng một nửa lượng tiêu thụ năng lượng nội địa của Anh vào năm 1700, nhưng sự tăng trưởng vượt bậc của công nghiệp hóa trong suốt thế kỷ 18 đã khiến tỉ lệ than củi được sử dụng để sưởi ấm và nấu nướng gia đình giảm xuống dưới một phần ba tính tới năm 1800 trong khi tổng lượng tiêu thụ đã tăng lên rất nhiều.

“Khi than có thể thay thế cho các nguồn năng lượng khác,” theo diễn giải của Wrigley, “việc mở rộng quy mô này có thể xảy ra mà không đồng thời làm tăng áp lực tương ứng lên vùng đất này. Khả năng tiếp cận với kho dự trữ các sản phẩm của quá trình quang hợp trong quá khứ [như than] có thể làm giảm áp lực đối với nguồn cung hiện tại [tức là gỗ và nước

mưa].”^[2] Một trong số những hệ quả không mong muốn là “số giờ làm việc trung bình mỗi năm ở London tăng lên 27%” từ năm 1760 đến năm 1800. Đối với Wrigley, mong muốn “được tiếp cận với hàng hóa hoặc dịch vụ” đã thúc đẩy sự gia tăng lao động này.^[3] Sự trỗi dậy của nền kinh tế nhiên liệu hóa thạch chính là nguồn nhiên liệu để mở ra thời đại tiêu dùng.

Bấy giờ nước Anh vẫn còn nhiều cây xanh vào năm 1800, cũng như nước Mỹ vẫn chủ yếu ở tình trạng nguyên sơ. William Wordsworth, một nhà thơ có nguồn thu nhập riêng, sẽ có nhiều đi ều để nói trong các bài thơ về tác động ngột ngạt của lao động công nghiệp lên cơ thể và tâm hồn, nhưng vào tháng 7 năm 1802, ông đã đứng trên cầu Westminster và cảm thán:

Một cảnh tượng... lay động lòng người trong sự hùng vĩ của nó:
Thành phố này giờ mờ ảo, như phủ một tấm voan,
Vẻ đẹp của buổi sáng; Im lặng, tr ần trụi,
Tàu, tháp, mái vòm, nhà hát và thánh đường vẫn còn đó
Mở ra những cánh đ ờng và lên Thiên Đường;
Tất cả rực rỡ và lấp lánh trong không trung không gợn khói.^[4]

(Nếu không trung không gợn khói vào buổi sáng, thì thường đ ầu được như vậy, Dorothy Wordsworth đã viết trong nhật ký của mình, cảm hứng của bài thơ trên. “Đó là một buổi sáng đẹp đẽ ở London,” bà viết, vì “những ngôi nhà không chìm trong đám mây khói của chúng.”^[5])

Lòng nhiệt thành của Wordsworth hướng đến một thế giới đô thị có thể sánh với với sự hùng vĩ của thế giới tự nhiên - bài thơ bắt đ ầu bằng “Thế gian không có gì đẹp hơn” - thể hiện sự lạc quan phổ biến thời đó. Phát hiện ra sỏi d ăm đường có thu phí ở Anh tăng gấp ba lần trong khoảng thời gian từ năm 1750 đến năm 1770, Sidney và Beatrice Webb trích dẫn một cây viết “có tài và khá đáng tin cậy” vào năm 1767 để tuyên bố sự phát triển đó là “một cuộc cách mạng đáng kinh ngạc... Việc vận chuyển ngũ cốc, than, hàng hóa, v.v, sử dụng số ngựa ít hơn một nửa so với trước đây. Các chuyến buôn bán được thực hiện gấp đôi... Mọi người đều có dáng vẻ vội vã lên đường... và nền tảng cho phép tất cả các phong trào này phát triển chính là việc xây mới hệ thống đường công cộng của chúng ta.”^[6]

Đường cái có thu phí đã tạo bước đệm chắc chắn cho những ai có đủ khả năng chịu phí cầi đường. Tác giả Thomas De Quincey đã gặp nhiều tình huống quen thuộc hơn trên đường cái của Anh vào “một ngày tháng 5 tuyết trầi nhất” của năm 1800: “hàng đàn gia súc lớn... trên những con đường lớn phía bắc, tất cả đều hướng về London, và toát lên kích thước khiêu khích ánh nhìn, cùng với lực lượng hùng dũng, bởi sự tiếp diễn không bao giờ kết thúc của những chuyến đi đó, và sự xa xôi so với thủ đô từ những con đường mà chúng đang tiếp bước.”^[7]

Cây bông của Mỹ còn lạ lẫm ở Anh vào năm 1784, khi một tàu Mỹ cập cảng Liverpool với tám kiện hàng toàn bông. Theo hai người quan sát, chúng đã bị “nhân viên hải quan bắt giữ bởi họ không tin nổi là nước Mỹ có thể trầi được chúng!” Đến năm 1806, bông Mỹ chiếm 53% thị phần ở Anh.^[8] Da, bông, len, và xây dựng chiếm thị phần gần 68% giá trị gia tăng công nghiệp Anh vào năm 1801.^[9] Từ năm 1788 trở đi, sản lượng sắt Anh tăng gấp đôi cứ sau mỗi tám hoặc mười năm, một phiên bản công nghiệp ban đầu của định luật Moore.^[10] Anh đã sản xuất gì từ tất cả số sắt đó? Samuel Smiles, người chép sử thời Victoria, đã viết là đinh, “đinh sắt gia công nhờ than đá.”^[11] Đây vẫn là thời đại của gỗ, nên đinh búa là công cụ thiết yếu với người thợ thủ công.

Erasmus Darwin, ông nội của Charles Darwin, là thầy thuốc, nhà thơ, và nhà thiên văn học, đã tiên đoán một tương lai chạy bằng hơi nước trong bài thơ năm 1791 nhan đề *The Botanic Garden* (Khu vườn thực vật), mở ra cả viễn cảnh máy bay hơi nước:

Sớm thôi cánh tay người, hơi nước chưa bị chế ngự! Xa lắm
Kéo xà lan chậm, hoặc lái xe nhanh;
Hoặc trên đôi cánh rộng rãi huy hoàng
Chiếc xe ngựa bay phi qua những cánh đồng thình không.^[12]

Tuy nhiên, rất ít người sống vào năm 1800 có thể mừng tượng được mức độ mà thế giới của họ đang thay đổi. “Tôi rất ngạc nhiên,” nhà phát minh tàu hơi nước Mỹ James Rumsey đã viết thư gửi George Washington vào năm 1785, “rằng thật khó để xoay chuyển được công chúng.”^[13] Tương lai này là một viễn cảnh quá xa vời. Wrigley lập luận rằng “thường

dân vào những năm 1790 sẽ không nghi ngờ gì về sự xuất hiện của một cuộc cách mạng dọc các tuyến kênh đào ở Pháp, nhưng anh ta sẽ ngạc nhiên khi biết rằng mình đang may mắn sống giữa những gì các thế hệ tương lai cũng sẽ gọi là cuộc cách mạng.” Dân thường cũng không phải là những cá nhân duy nhất phủ nhận viễn cảnh đó, Wrigley cho biết thêm. “Ba con người vĩ đại nhất trong số các nhà kinh tế học cổ điển: Adam Smith, Thomas Malthus và David Ricardo không chỉ hoàn toàn không nhận thức được nó, mà còn nhất trí bác bỏ khả năng mà các thế hệ sau gọi đó là cuộc cách mạng công nghiệp.”^[9]^[14]

Các đường ray xe toa và đường sắt kết nối với hệ thống kênh đào trở nên rất phổ biến vào năm 1800. Một vài tuyến đường sắt chở than như Đường tàu Merthyr, đi vòng qua những kênh rạch bị tắc nghẽn giao thông nặng. Chỉ khi một kỹ sư mỏ tên là William Thomas khảo sát dự án đường sắt như chúng ta biết đến ngày nay, thì việc vận chuyển hành khách và hàng hóa giữa các thành phố mới lần đầu tiên được ghi nhận tại một cuộc họp của Hiệp hội văn học và triết học Newcastle ngày 11 tháng 2 năm 1805.^[15] Thomas đã đề xuất một dự án mà ông gọi là “đường trung gian,” một hệ thống giao thông quy tụ nhiều lợi thế và ít nhược điểm của kênh đào hoặc đường công cộng.^[16] Thay cho “đường ray gỗ được sử dụng phổ biến trong các mỏ than,” đường sắt của Thomas sẽ chạy trên các “tấm” gang đúc dài 1,3 mét và rộng 12,7 cm, đủ rộng cho bánh xe ngựa thông thường, với cạnh có gờ “để ngăn xe ngựa trượt khỏi đường.”^[17] Những toa hàng có thể chở ngũ cốc đến chợ và “mang... phân bón về từ thị trấn,” Thomas giải thích, và khi tuyến đường sắt đi qua các khu vực đông dân cư hơn, mọi người sẽ “tận dụng được cơ hội đi lại rất rẻ và nhanh chóng.”^[18] Việc ngồi trên xe toa không mui chở vô số chất thải của động vật và con người dường như không hấp dẫn vào ngày nay, nhưng việc tiếp xúc hằng ngày cộng thêm mùi phân bón nồng nặc là chuyện thường ngày của một thế giới mới chỉ có sức kéo động vật.

Tốc độ sẽ là một lợi ích, Thomas tính toán: “Người ta hi vọng rằng những cỗ xe tứ mã hiện đi lại hằng ngày giữa Newcastle và Hexham mất bốn tiếng rưỡi, giờ sẽ chỉ cần hai ngựa để di chuyển trên cùng khoảng cách và tiết kiệm được một tiếng” trên đường sắt của ông.^[19] Hai đường ray cạnh nhau sẽ cho phép các tàu hỏa đi ngược chiều không đầu đầu nhau. Và khi việc hợp nhất cái cũ với cái mới, một quy luật của chuyển đổi giai đoạn

trong công nghệ, phần ở giữa hai ray có thể trở thành đường để cưỡi ngựa cho những người chọn cách di chuyển đó. Thomas cho rằng “không còn nghi ngờ gì nữa, nhiều người sẽ vui vẻ chọn lối đi bằng phẳng đó thay cho đường sá gập ghềnh hiện nay.” Khả năng cải thiện “đường sá gập ghềnh hiện nay” - những tuyến đường cái với những đàn gia súc gia cầm - dường như chưa bao giờ nảy ra trong Thomas hay bất kỳ ai khác ở Anh trong thời đại này.^[20]

Giáo sư Jack Phot pho Vui tính - John Anderson, vị giáo sư triết học tự nhiên người Scotland và là bạn của James Watt - đã hồi đáp đề xuất của Thomas với sự nhiệt tình đến mức nhiều người bạn nghĩ rằng ông hẳn đã hóa điên. Tầm nhìn của Anderson về một thế giới trù phú và hòa bình nhờ có công nghệ rất tương đồng với viễn cảnh của Wordsworth về thời khắc vẻ đẹp nhân tạo có thể sánh ngang với các kỳ quan của tự nhiên. Cả hai viễn cảnh đó đều vinh danh một thế giới mới, giàu năng lượng, thứ đang nổi lên và coi nhẹ sự ô nhiễm khói bụi từ nhà máy và khai mỏ. Nhưng Anderson đã quá nhân văn vì góc nhìn của một nhà giáo dục đã ngăn ông đánh giá được những hậu quả chắc chắn sẽ nảy sinh. Có lẽ ông cho rằng đó là một cái giá hợp lý cho viễn cảnh thiên đường công nghệ mà mình mừng tượng.

“Nếu chúng ta có thể giảm chỉ một xu trong chi phí vận chuyển và thời gian liên lạc cá nhân.” Anderson đề xuất, “thì ta sẽ tạo ra một tác phẩm mới - không chỉ từ đá và đất, cây cỏ hay thực vật, mà từ con người; và đương nhiên phần thưởng theo sau sẽ lớn lao hơn nhiều, nếu bạn đề cao công nghiệp, hạnh phúc, và niềm vui.” Những lợi ích mà Anderson mong đợi từ mô hình vận chuyển hiệu quả hơn bao gồm giảm chi phí sinh hoạt, cải thiện nông nghiệp và kết nối thành thị với nông thôn. “Thời gian và khoảng cách sẽ gần như biến mất,” Anderson đã mơ mộng rất cao xa; “số lượng ngựa để vận chuyển sẽ bị giảm dần; mỏ và nhà máy sẽ xuất hiện cả trong các khu vực gần như bị cô lập hoàn toàn bởi khoảng cách; làng, thị trấn, và thậm chí các thành phố sẽ mọc lên khắp đất nước; và các nơi chốn từng im ắng như nấm mồ sẽ bỗng sống động với tiếng ngân nga của con người, tiếng búa và sự ồn ào của máy móc” - như thể sự im lặng này là một gánh nặng và tiếng ồn trở thành phẩm giá của xã hội văn minh. Ông kết luận “cả vương quốc sẽ được cách mạng hóa với nếp sống và hoạt động mới, và sự thịnh vượng chung sẽ là kết quả từ nỗ lực to lớn trong việc

buôn bán và giao thương khắp mọi nơi.”^[21] Khi ra đời, đường sắt chắc chắn sẽ được kỳ vọng rất nhiều.

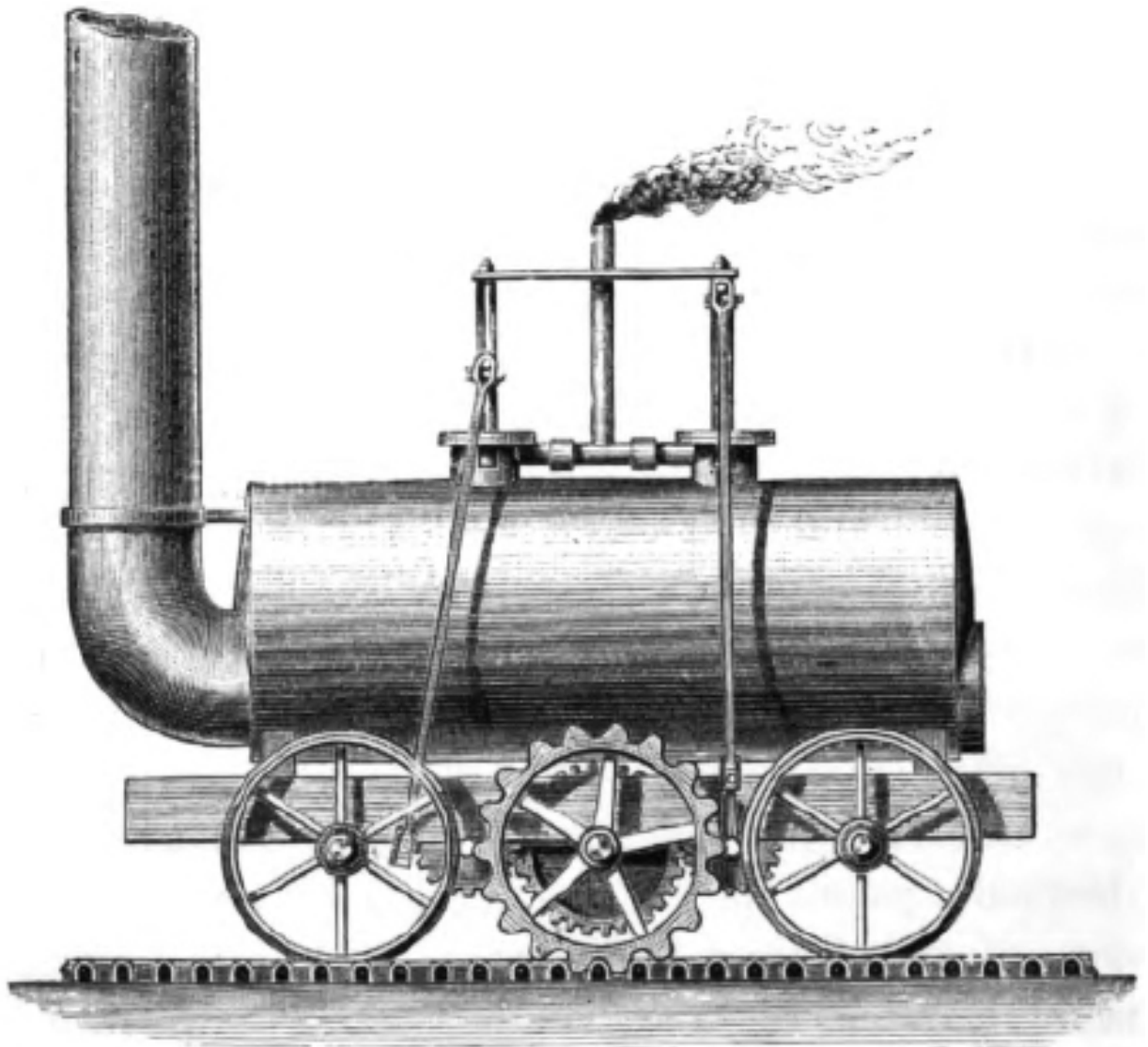
Đường sắt đã phát triển như dự kiến, nhưng trước khi các công nghệ cần thiết hội tụ thành một hệ thống thành công, thì đã có vô vàn hệ thống thử nghiệm khác nhau. Hành khách lần đầu tiên ngồi xe tàu vào ngày 25 tháng 3 năm 1807 trên đường tàu Oystermouth tại bán đảo Gower ở Swansea, phía tây bắc Cardiff xứ Wales. Các toa xe được kéo bằng ngựa, và lái tàu trả phí cầu đường cho công ty sở hữu đường.^[22] Tháng 5 năm 1809, ở phía bên kia bờ biển nước Anh, phía nam Tyne tại mỏ than chính của Bewick, một đám đông lớn đã tụ họp để được chứng kiến lễ khánh thành của một loạt các mặt phẳng nghiêng: đường ray dốc lên và xuống với động cơ hơi nước tĩnh định cuốn dây thừng sẽ kéo những chiếc xe chở than đến và đi từ sông. “Bốn toa xe than nhỏ được đưa lên mặt phẳng đầu tiên bằng động cơ hơi nước trong tiếng súng long trọng cùng sự ngưỡng mộ tuyệt vời của khán giả,”^[23] theo báo cáo của Robert Galloway.

Bài toán làm thế nào để di chuyển tàu trên đường ray sắt vẫn chưa được giải quyết vào năm 1812, khi John Blenkinsop, người quản lý mỏ Middleton hai mươi chín tuổi ở Leeds, đã đặt làm một động cơ với một bánh xe truyền động có thanh răng mà ông được cấp bằng sáng chế, nó khớp với một đường ray có thanh răng đặt song song ở một bên của đường ray. Blenkinsop, một lần nữa, quan tâm đến độ bám đường, đặc biệt là với các toa xe than nặng. Đường ray có răng cưa của ông đã kéo than thành công tại Leeds, ông đã kể lại trải nghiệm của mình trên mặt báo vào năm 1814, “ngay cả trong đợt tuyết rơi lớn vào tháng 1 vừa qua; đã có nhiều toa xe chở than được chuyển đến Leeds trong tháng khắc nghiệt đó nhờ có động cơ đầu máy, vượt hơn bất kỳ sức ngựa nào.”^[24]



Một mặt phẳng nghiêng với động cơ hơi nước cố định ở đầu đang kéo một toa xe than.

Các nhà phát minh khác đã thử sức với những sự kết hợp khác, bao gồm một động cơ tự kéo về phía trước theo một sợi xích, sau đó được ứng dụng cho kênh đào và phà sông. Sự kết hợp tài tình nhất, dù không thành công, là động cơ tự đẩy mình đi bằng các chân sau bằng sắt, kết quả là xe toạc nền đường và mắc kẹt trong bùn.^[25] Cuối cùng, vào năm 1813, Christopher Blackett, một chủ báo sở hữu mỏ Northumberland ở Wylam, bên sông Tyne 16 km về phía tây của Newcastle, đã tiến hành thí nghiệm để xác định xem bánh xe sắt có bám vào đường ray sắt mà không cần bánh răng không. Ông đã cho lắp ráp một xe goòng nhỏ với bốn bánh lớn, hoạt động nhờ một cái tời. Với sáu người ngẩng lên để tăng thêm trọng lượng, chiếc xe đã đi bình thường mà không bị trượt.^[26] Richard Trevithick đã có phát hiện tương tự vào đầu năm 1803, nhưng Blackett đã công khai phát hiện đó trên tờ báo của mình. Ông cũng biến nó thành thành phẩm bằng cách đặt làm đầu máy tên là *Billy Nhả khói* - một động cơ hai xi-lanh, bốn bánh chuyên chở than trên đường tàu Wylam từ Wylam đến Tyne.



Động cơ với đường ray có thanh răng của Blenkinsop; lưu ý bánh răng trung tâm được gắn khớp với đường ray.

George Stephenson có lẽ là người đáng chú ý nhất trong tất cả các kỹ sư tự học thành tài trong những năm đầu của đầu máy hơi nước. Cũng như nhiều người sở hữu kỹ năng xuất chúng, ông có kiến thức sâu sắc về chuyên môn từ thời thơ ấu. Cha của ông, Robert, là đốc công phụ trách động cơ bơm của mỏ Wylam khi George được sinh ra vào ngày 9 tháng 6 năm 1781 ở Wylam trong một ngôi nhà cách đường ray gỗ có hai mét.^[27] Trước tiên cậu bé chăn bò sữa và nhổ củ cải cho một nông dân góa bụa lấy hai xu một ngày công; rồi dắt ngựa đi cày lấy bốn xu một ngày; sau đó, lớn hơn một chút, lựa những viên đá (đá phiến và quặng hoàng thiếc) bị lẫn với than lấy sáu xu một ngày.^[28] Ở tuổi mười hai, cậu có thể lái ngựa thồ tại

mỏ Black Callerton, phía tây Newcastle; đến làm việc dưới quyền cha mình dưới vị trí phụ đốt lò tại mỏ Dewley Burn; sau đó làm người đốt lò ở hai mỏ khác. (Người đốt lò có nhiệm vụ *tạo ra* lửa bằng cách xúc than vào buồng đốt của động cơ hơi nước với tốc độ phù hợp để giữ hơi nước.) Lúc mười bảy tuổi, George được giao phụ trách động cơ bơm nước mới tại Water Row, trên bờ sông Tyne một vài dặm về phía tây Newcastle.

Stephenson có được các kỹ năng cần thiết cho một loạt các công việc này mặc dù thất học. Khi mười tám tuổi ông mới học đọc và viết, năm 1790, và ông luôn gặp khó khăn với việc viết. Vào những lúc rảnh rỗi hiếm hoi, ông đóng và sửa giày, ủng, cũng như sửa đồng hồ để kiếm thêm thu nhập. Đến năm 1801, chàng trai hai mươi tuổi này đã kiếm được một bảng mỗi tuần với việc phụ trách động cơ cuốn tại mỏ Dolly, Black Callerton, và đã dành dụm đủ tiền để kết hôn. Cuộc tình đầu tiên và thứ hai đều thất bại, nhưng ông đã thành công ở lần thứ ba, kết hôn vào tháng 11 năm 1802 với Fanny Henderson, một cô hầu gái hơn mười hai tuổi. Con trai của họ Robert được sinh ra một năm sau đó.

Đáng buồn thay, Fanny đã qua đời vì bệnh lao. Thời đó khoảng một nửa số thanh niên mắc bệnh lao sẽ tử vong. Năm 1805, bà cũng mất một cô con gái ba tuần tuổi rồi ra đi vào mùa xuân năm sau. Stephenson, chìm trong đau khổ, thuê một quản gia để chăm sóc Robert đáng thương ba tuổi. Sau đó, ông đi bộ 320 km về phía bắc vào Scotland đến Montrose, trên phía đông bắc Biển Bắc của thành phố Dundee, và nhận vận hành động cơ hơi nước Boulton & Watt tại một xưởng dệt. Ông làm việc tại xưởng trong hơn một năm và tiết kiệm được 28 bảng (ngày nay là 2.000 bảng, hoặc 2.900 đô-la) trước khi trở lại khu vực Newcastle trên sông Tyne, chỉ để gặp nhiều bất hạnh hơn: cha ông đã bị bỏng mù mắt do tai nạn động cơ hơi nước. Stephenson đã dùng toàn bộ tiền tiết kiệm để trả các khoản nợ của cha mình và trợ cấp ông đến cuối đời.

Ngoài làm việc với động cơ hơi nước từ khâu đào than lên, vào thứ Bảy khi động cơ nghỉ George hay tháo chúng ra và lắp lại, kiểm tra từng thành phần để nắm vững chức năng của chúng. Giữa việc tiếp nhiên liệu, vận hành, tháo dỡ và sửa chữa động cơ, ông đã học được cơ chế của chúng để có kiến thức còn hơn cả một kỹ sư chuyên nghiệp được đào tạo bài bản. Những người đã làm việc với ông, bao gồm cả các chuyên gia, đều công

nhận khả năng nhận biết trực trặc động cơ chính xác đến dị thường của ông. Nó như đã ăn sâu vào con người George.

Cơ hội tiến thân của ông đã xuất hiện vào năm 1811, khi một động cơ khí quyển được lắp vào năm trước trên một hầm than mới tại mỏ Killingworth không hút nổi nước mỏ. Người quản lý đã phải thuê thợ máy hết người này đến người khác nhưng vẫn không thành công: mỏ vẫn bị lụt. “Một tin đồn đã lan ra,” theo lời của Thomas Summerside, bạn nối khố của Stephenson, “nhiệm vụ này là bất khả thi.”^[29] Stephenson đã nghiên cứu động cơ tay đòn cỡ lớn và kết luận rằng hệ thống phun nước lạnh quá yếu, đi đầu đó có nghĩa là nó không thể tạo một khoảng chân không tương xứng nên không sản sinh đủ công suất.^[30] Ông chỉ là thợ hãm tàu, nhưng tất cả những người khác đều đã thất bại; vậy nên người quản lý đành nhờ ông giúp. Stephenson tăng mức nước phun vào bể chứa lên 3 mét, mở rộng van bơm, và, đây là chi tiết gây tranh cãi nhất, tăng gấp đôi áp suất hơi từ 35 lên 70 kPa. Những kẻ hoài nghi đã chế giễu, đặc biệt khi động cơ quay tay đòn mạnh đến nỗi nó đập mạnh xuống điểm dừng và làm rung chuyển toàn bộ thân máy - rằng “nó sẽ bật tung lên,” Stephenson nói. Đi đầu đó khiến người xem hoảng sợ, nhưng khi hầm mỏ bắt đầu sạch nước, động cơ quay về ổn định và chạy trơn tru.^[31] Hai ngày sau, mỏ hoàn toàn thoát nước, đem về phần thưởng 10 bảng cho Stephenson. Năm tiếp theo, Grand Alliance, tập đoàn quyền lực của giới chủ mỏ, đã thăng chức Stephenson lên làm thợ máy trưởng phụ trách tất cả các máy móc trong các mỏ họ sở hữu với mức lương hằng năm là 100 bảng (ngày nay là 6.300 bảng, tương đương 9.000 đô-la). Mức lương đó sớm trở thành một bước đệm và Stephenson trở thành nhà tư vấn công nghiệp.

Ngoài kiến thức về động cơ hơi nước, vũ khí bí mật khác của Stephenson chính là con trai ông, Robert. Nền giáo dục chính quy của con trai lại giúp bổ sung kiến thức sách vở cho ông. Khi Robert hoàn thành khóa đào tạo kỹ sư, cậu hợp tác với cha mình trong suốt phần đời còn lại của George.

Stephenson đã chế tạo đầu máy hơi nước đầu tiên vào năm 1814. Ông đã thiết kế nó dựa trên đầu máy chạy trên ray có thanh răng được cấp bằng sáng chế của Blenkinsop nhưng tránh được chi phí bản quyền bằng cách sử dụng các bánh xe trơn kết hợp với cải tiến đóng vành. Động cơ *Blucher* đã lăn bánh qua ngôi nhà mà Stephenson sinh ra ở Wylam vào ngày 25 tháng 7

năm 1814.^[32] “Hai ngày sau,” Galloway viết, “đầu máy được chạy thử trên một đoạn đường [ray]... lên dốc khoảng một foot trong tổng số 450 feet; kết quả là sau đó đầu máy bị trượt, không kể trọng lượng riêng của động cơ, cộng thêm tám toa xe là tổng tất cả 30 tấn Anh, với tốc độ bốn dặm một giờ; và sau đoạn ỳ ban đầu, động cơ lại chạy ổn định.”^[33] Một động cơ tương tự cũng sớm được ra đời sau đó. Cuối đời, Stephenson vui vẻ nhớ lại hai thành tựu đáng nhớ nhất của mình: “Đầu máy đầu tiên mà tôi chế tạo là ở Mỏ Killingworth, và bằng tiền của ngài Ravensworth. Đúng vậy! Ngài Ravensworth và các đối tác [Đại liên minh] là những người đầu tiên giao phó cho tôi tiền để làm động cơ đầu máy... Chúng tôi đã đặt tên cho đầu máy là *Chúa công*. Tôi nói với bạn bè rằng, tốc độ của một động cơ như vậy là không giới hạn, miễn là máy móc đủ chắc chắn để chịu nổi tốc độ đó.”^[34]

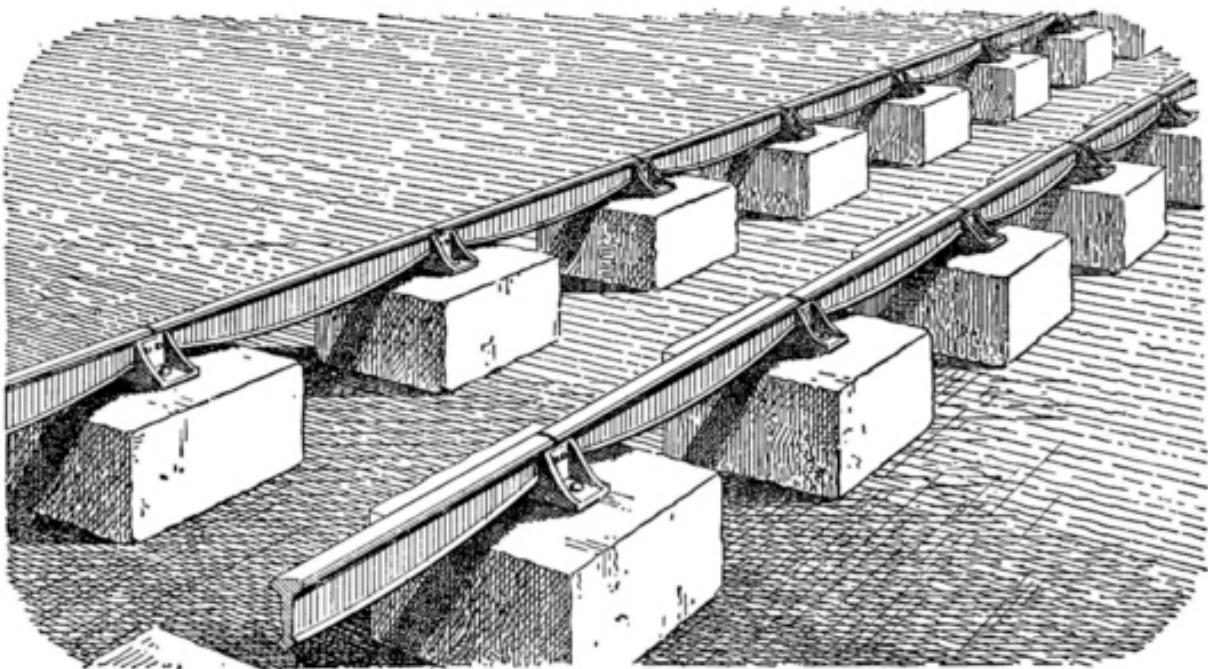
Câu chuyện về phát minh ra đèn an toàn cho các mỏ chứa khí dễ cháy của Stephenson nằm ngoài phạm vi của giai đoạn lịch sử này, nhưng bước đột phá của ông đã xảy ra trước phát minh nổi tiếng hơn của nhà hóa học Humphry Davy và có hiệu quả tương đương. Đèn Davy sử dụng màn chắn kim loại, Stephenson thì dùng một ống kim loại đục lỗ với một tấm lưới có lỗ đều nhau. Nhưng cả hai đèn đều hoạt động trên nguyên tắc tương tự: ngọn lửa của đèn dầu đốt cháy bất kỳ lượng nhỏ khí dễ bắt lửa nào thấm qua lưới vào bên trong đèn, với lưới làm mát khí đã bắt lửa để ngăn nó cháy ra ngoài và lan vào mỏ. Davy, người phát hiện ra năm nguyên tố - barium, canxi, boron, strontium và magiê, tất cả trong cùng năm 1808 - là giảng viên của Hiệp hội Hoàng gia, và sau này thành chủ tịch, đã nhận được giải thưởng 2.000 bảng (ngày nay là 132.300 bảng, hoặc 188.000 đô-la) cho phát minh của mình. Giải thưởng này là của Đại liên minh và các chủ mỏ ở Newcastle khác, những người biết rằng phát minh của Stephenson đã ra đời trước. Đáp lại, họ đã thưởng 1.000 bảng cho ông. Hồi trước ông cũng nhận được một phần thưởng an ủi trị giá 100 bảng.

Mặc dù việc Stephenson bắt đầu sản xuất đầu máy hơi nước với số lượng ổn định sau hai đầu máy *Blucher* và *Chúa công* đã chứng minh ích lợi của chúng, cơ sở hạ tầng đường sắt tiếp tục phát triển một cách chậm chạp. Gang đầu thế kỷ 19 kém tinh khiết và giòn hơn gang ngày nay rất nhiều và thường bị vỡ khi chịu tải trọng lượng của động cơ hơi nước nặng. Do đó, mỗi đoạn đường ray phải ngắn, gần một mét, từ đó xuất hiện nhiều

mối nối không bền vững. Việc cho ngựa đi giữa đường ray - cho đến năm 1828, đường sắt đầu tiên ở Anh của Stephenson vẫn có 43% trọng tải là nhờ sức ngựa - nghĩa là đường ray phải được đặt trên các khối đá chứ không dùng thanh tà vẹt, gây khó khăn cho việc giữ chúng thẳng hàng.^[35]

Đường ray gang mặc dù có nhiều hạn chế nhưng vẫn đáp ứng một yêu cầu đặc trưng của công nghệ mới: chi phí thấp hơn. Vận chuyển bằng đường sắt có chi phí thấp hơn so với ngựa thồ hoặc xe ngựa. “Trong một ghi chép của Dunfermline, xuất bản năm 1815,” Galloway viết, “chúng tôi được thông báo rằng ‘trong vòng năm năm, than đã được gửi đến [Sông] Forth, để xuất khẩu, bằng đường ray gang’; và phương thức vận chuyển này giờ đây giúp tiết kiệm sức lao động của không dưới 100 con ngựa.”^[36] Đã có 13 triệu tấn than được tiêu thụ ở Anh vào năm đó.^[37]

Sắt tinh luyện bắt đầu thay thế gang trước năm 1820, khi một kỹ sư đường sắt khu Northumberland tên là John Birkinshaw được cấp bằng sáng chế cho một phương pháp cán thanh ray bằng sắt tinh luyện thành các hình dạng khác nhau với chiều dài 4,6 mét có thể chịu được trọng lượng của đầu máy hơi nước chạy trên chúng dầm dề mỗi ngày.



Tàu vẹt bằng đá tảng đỡ đường ray gang

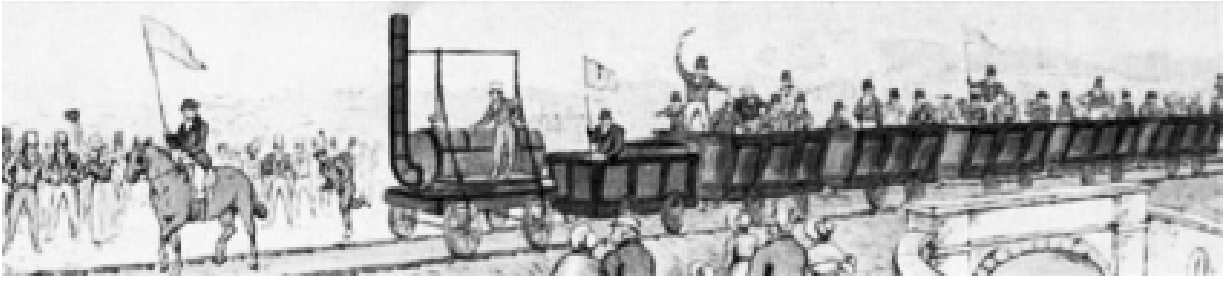
Kỹ sư người Scotland Robert Stevenson, ông nội của nhà văn Robert Louis Stevenson, đồng thời là cựu sinh viên của Jack Phốt pho Vui Tính, đã ca ngợi loại vật liệu mới này trong một báo cáo về một tuyến đường sắt

mới được đề xuất: “3,5 dặm [đường ray bằng sắt dễ uốn] đã được sử dụng trong khoảng tám năm cho các công việc của Ngài Carlisle, tại Tindal Fell, Cumberland, nơi cũng có hai dặm đường ray gang; nhưng con đường sắt dẻo tỏ ra vượt trội hơn trong mọi khía cạnh.” Như vậy, Stevenson viết thêm, “chi phí ban đầu không chỉ rẻ hơn đáng kể so với đường ray gang mà còn ít gặp tai nạn hơn.”^[38]

Năm 1821, George Stephenson nhận ra thứ vật liệu mới này có giá trị lâu dài và vị kỹ sư Scotland này viết rằng: “Những đường ray đó rất được ưa chuộng trong vùng này, đến nỗi tôi nghĩ rằng trong một thời gian ngắn, họ sẽ từ bỏ đường ray gang. Chúng tạo thành đường thẳng lý tưởng cho động cơ của chúng tôi và cần rất ít mối nối so với thiết kế cũ.”^[39] Stephenson thích đường ray mới đến mức ông đề nghị lắp đặt chúng cho tuyến đường sắt công cộng đầu tiên sử dụng đầu máy hơi nước do chính ông thiết kế - tuyến Stockton & Darlington - bất chấp việc chi phí đề xuất bằng tổng giá trị công ty riêng của ông, nơi vẫn sản xuất các thanh ray gang cũ, quả là một vụ mua bán lớn.

Stockton & Darlington đã mở cửa hoành tráng vào ngày 27 tháng 9 năm 1825. Những toa tàu chở than ngày hôm đó chật ních các quan chức và khán giả, đi từ Stockton, trên sông Tees 50 km bên dưới Newcastle qua sông Tyne, đi 40 km đến mỏ Công viên Witton. Về cơ bản đó là một hành trình chở than tốc độ thấp nay tận dụng để chở khách, một nửa hành trình là trên đường ray gang, nửa còn lại trên sắt tinh luyện.^[40]

Đến thời điểm này, Stephenson đang làm việc trên tuyến đường sắt quan trọng tiếp theo đang được phát triển ở Anh: Liverpool & Manchester. Không giống như Stockton & Darlington khá dễ dàng được Quốc hội Anh phê chuẩn, tuyến Liverpool & Manchester gặp phải sự phản đối quyết liệt từ chủ kênh đào, nhà đi đầu hành xe ngựa, quý tộc thắc thu thuế đường và chủ nhà trọ, những người hiểu rằng cạnh tranh đường sắt có thể gây tai họa cho các doanh nghiệp và khoản đầu tư của họ. Cả giới quý tộc sở hữu bất động sản với khoản thuê mượn đường mà đường ray mới phải đóng cũng không muốn dính dáng gì đến mớ rắc rối ồn ào và khói lửa này. (Công tước Cleveland đã phản đối Stockton & Darlington vì nó đe dọa các hàng cáo⁽¹⁰⁾ của ông quanh bất động sản ông sở hữu - dẫn đến yêu cầu kế hoạch thi công phải được sửa đổi để tránh khu vực đó. Yêu cầu đã được tuân theo.^[41])



Khai trương Đường sắt Stockton & Darlington, ngày 27 tháng 9 năm 1825

George Stephenson phải đối mặt với rắc rối kéo dài nữa khi ông khảo sát địa điểm cho tuyến đường sắt Liverpool & Manchester. Ông và người của mình đã có “một công việc đáng buồn với Ngài Derby, Ngài Sefton và Bradshaw, Chủ sở hữu Kênh đào cao quý,” ông viết cho người quản lý kinh doanh. Họ đã phong tỏa đất của họ ở mọi phía, ông phàn nàn, để ngăn cản cuộc khảo sát. Tệ hơn, “Bradshaw nổ súng khắp khu đất của ông ta vào ban đêm để ngăn các Điều tra viên lên xuất hiện lúc tối trời.” Hội làm đường sắt đã quyết tâm khảo sát cho bằng được, ông nói thêm, mặc cho Ngài Sefton đã cảnh báo họ rằng có hàng trăm người trong đất của mình sẵn sàng đối đầu với họ.^[42] Stephenson sẽ làm chứng trước Quốc hội rằng ông bị “đe dọa chìm xuống ao nếu tôi dám tiến hành.” Ông chỉ kịp khảo sát vội vàng, “bằng cách lén lút, vào thời điểm họ đang ăn tối.”^[43]

Phe ủng hộ tuyến Liverpool & Manchester tuyên bố rằng nó sẽ giao hàng nhanh hơn nhiều so với vận chuyển bằng kênh. Sự không đáng tin cậy của động cơ hơi nước đời đầu biện minh cho việc chần chừ lý lẽ đó, song các phương tiện giao thông chúng ta không coi là nhanh ngày nay dường như là không thể tưởng nổi trong một thế giới nơi không có ai đi nhanh hơn một con ngựa phi nước đại. “Chẳng thứ gì trên đời có thể ngó ngán và lỗ bịch,” trích lời một nhà phê bình cho tờ *Quarterly Review* của London, người ủng hộ một kế hoạch đường sắt đến Woolwich, “hơn viễn cảnh cho rằng đầu máy xe lửa có thể *nhANH gấp đôi* xe tứ mã! Chúng ta nên sớm rửa mắt nhìn người dân Woolwich phải chịu đau khổ khi bị bắn đi bằng tên lửa của Congreve⁽¹¹⁾, cũng như đặt niềm tin vào sự thương xót của một cỗ máy di chuyển với tốc độ như vậy... Chúng tôi tin rằng Quốc hội sẽ, trong tất cả các tuyến đường sắt được phê chuẩn, giới hạn tốc độ xuống chỉ *tám hoặc chín dặm một giờ*, đó là... giới hạn di chuyển an toàn tối đa.”^[44]

George Stephenson đã đối mặt với một thách thức tàn bạo hơn nhiều so với sự hoài nghi của một nhà phê bình về tốc độ đầu máy trong ba ngày đi đầu tiên trước ủy ban Quốc hội đi đầu tra các kế hoạch xây dựng cho tuyến Liverpool & Manchester. Bắt đầu từ ngày 25 tháng 4 năm 1825, vị kỹ sư nhớ lại, ông được kiểm tra chéo từ một nhóm luật sư thù địch. “Một số thành viên của ủy ban hỏi tôi có phải là người ngoại quốc không, và một người khác ám chỉ rằng tôi bị điên,” ông nhớ lại.^[45] Câu hỏi nhắm vào “gã ngoại quốc” chế giễu lời nhận xét của Smiles về “chất giọng mạnh mẽ xứ Northumbria” của Stephenson, đương nhiên ông bị công kích một phần vì ngu ngốc giai cấp cần lao và việc không được giáo dục bài bản. Đúng như vậy, nhưng Stephenson nắm vững vật lý cơ học hơn nhiều so với tay luật sư trùu sò phe chống đối:

Anh nói rằng máy có thể đi với tốc độ 12 dặm một giờ; giả sử có một ngã rẽ trên đường, chuyện gì sẽ xảy ra với đầu máy?

Nó sẽ rẽ.

Nó sẽ không đi thẳng về phía trước?

Không.^[46]

Sự sỉ nhục lớn nhất với Stephenson đã đến khi người chắt vắn ông, một luật sư sắc sảo tên là Edward Alderson, đã không thừa nhận kết quả khảo sát cho tuyến đường sắt mới của ông, tìm thấy nhiều lỗi trong các phép đo và có lời thú nhận của Stephenson rằng ông đã không tự mình thực hiện các quy trình khảo sát được dùng để ước tính chi phí:

Ông không tin rằng mình có sai sót trong các quy trình?

Tôi đã ước tính từ các con số mà tôi tin là chính xác.

Ông có tin, có hay không, rằng con số của mình là chính xác?

Tôi đã nghe báo cáo rằng chúng không chính xác.

Ông đã tự mình đo đạc hay chưa?

Tôi thuê người làm hộ.

Những người khác đã khảo sát hộ ông và theo ước tính của họ, ông đã thực hiện dự toán?

Đúng vậy.^[47]

Stephenson biết rằng mình có thể lắp đặt đường sắt đúng chuẩn ngay cả khi khảo sát chính thức không chính xác, nhưng các sai sót đó làm cho ông trông như một gã khờ hoặc kẻ lừa đảo. Nó khiến ông mất bình tĩnh. Dự án đã không được phê duyệt vào năm đó, nhưng với sự đi đầu chính trong tuyến đường để không xâm phạm một số bất động sản và một món quà trị giá một nghìn cổ phần đường sắt cho Hầu tước Stafford, một chủ kênh đào, để ông ta rút lại sự phản đối. Dự án được Hạ viện thông qua vào năm sau và được Thượng viện Anh thông qua vào ngày 27 tháng 4 năm 1826.

Stephenson đã lên kế hoạch cho tuyến đường sắt đi qua một khu vực đơn lẻ gọi là đầm lầy than bùn - trong trường hợp này là Chat Moss, một khu vực có diện tích khoảng 30 km² nằm phía tây của Manchester. Đầm lầy than bùn là một nơi ẩm ướt, một vùng trũng nông được hình thành bởi băng hà xói mòn lấp đầy với thảm thực vật chết và ngập nước tạo thành một đầm lầy hình vòm như cát lún.^[48] “Thứ năm không lờ này,” theo một tác giả đương đại đặt tên, “dao động ở độ sâu từ 10 đến 40 feet.” “Chẳng có ai ngoài ông Stephenson lại đi nghĩ đến việc cho tàu vào Chat Moss,” người luật sư tóm gọn cho phe đối lập đường sắt chất vấn, “rồi đi ra thành như phần ướt? Sự ngu ngốc này gần như không thể tưởng tượng được. Thật là một sự điên rồ hoàn hảo, khi một cá nhân được triệu tập để trình bày một đề tài khoa học lại đề xuất một kế hoạch như vậy.”^[49]

Đối với các luật sư và chính trị gia, đây quả thực có vẻ như là sự điên rồ không thể chối cãi, nhưng Stephenson đã tổ chức người của ông xây một tuyến đường sắt băng qua Chat Moss vào tháng 6 năm 1826, sau khi dự án Liverpool & Manchester được hoàng gia tán thành. Ông biết những chiếc tàu nổi được trên đại dương, dù Chat Moss cũng ngập nước như vậy, song so với đại dương thì đầm lầy này có hệ thực vật sống và chết rậm rạp hơn nhiều. Vì vậy nếu ông có thể xây dựng một bề nổi đủ ổn định để đỡ đường ray, đoàn tàu có thể đi qua.

Stephenson đã ra lệnh lắp đặt các ống thoát nước thẳng đứng đặt sâu xuống dọc theo hai bên của nền đường quy hoạch. Khi bề mặt rêu giữa các cống khô và cứng, công nhân của ông có thể làm nền đường bằng một hoặc hai lớp phen - những tấm đệm diện tích 1,2 x 2,7 mét vuông được đan bằng cành cây phỉ và phủ thạch thảo. Cát và đất dần sau đó sẽ được trải trên các lớp rào và tà vẹt, đường ray sau đó được đặt trên đất dần.

Lúc đầu, đầm lầy than bùn đánh bại mọi nỗ lực thoát nước của Stephenson. “Khi những ống thoát nước được đặt ở cả hai bên của tuyến đường,” Smiles viết, “nước bùn đổ vào, đe dọa lấp đầy nhiều nơi.”^[50] Stephenson suy nghĩ về vấn đề này và quyết định lấp đầy ống bằng một cống thoát nước tạm thời sẽ mang nước đi và ngăn nó tràn ra nền đường. Ở Liverpool và Manchester, ông đã mua hết các thùng mỡ cũ mà nhân công có thể tìm thấy, gỡ phần nắp ở đầu thùng ra, cắt ống cống, và đặt các thùng với phần đầu lồng vào nhau để nước chảy vào.

Tuy nhiên, giải pháp thoát nước đó chỉ mang tính tạm thời. Đầm lầy sâu tới 3 hoặc 6 mét: những chiếc thùng gỗ nổi lên như nút chai và trôi ra ngoài. Stephenson liên tục đổ đất sét để nén chúng xuống. Nó đã có hiệu quả. Người của ông trải hàng tấn chướng ngại vật, cát và đất vào nền đường giữa các ống thoát nước, Smiles nói, “nhưng người ta sớm thấy rằng trọng lượng này ép khu đầm xuống và tràn qua hai bờ, khiến đường sắt như nằm giữa lòng thung lũng, từ đó tạo thành một cái cống lớn chạy qua cả bãi lầy.”^[51] Stephenson mở rộng những tấm phen và đất nền thêm 9 mét mỗi bên đường sắt, từ đó hạ mực nước đầm xuống và nâng đường ray lên cao trở lại.

Trên một khu vực thấp hơn ở Chat Moss, Stephenson cần một phần đất kè dài 3,6 mét để làm phẳng tuyến đường. Người của ông nạo vét đầm và chèn lấp bằng cát và sỏi để làm kè. “Sau nhiều tuần miệt mài đổ đầy vật liệu để làm đường,” Stephenson nhớ lại, “hầu như vẫn không có dấu hiệu nhỏ nhất nào về việc chúng tôi có thể nâng cao bờ kè dù chỉ một inch; nói tóm lại, chúng tôi cứ đổ thêm vật liệu vào mà chẳng ăn thua gì.” Ban giám đốc bắt đầu lo lắng rằng những nỗ lực tốn kém này sẽ thất bại. Họ tham khảo ý kiến của các kỹ sư khác, những người phản đối kế hoạch của Stephenson. Như thêm dầu vào lửa, họ triệu tập một cuộc họp hội đồng ngay tại Chat Moss để quyết định xem có nên bắt Stephenson kết thúc công việc hay không. Nhưng dự án đã đi quá xa, với quá nhiều tiền đầu tư. “Vì vậy, ban giám đốc đã *buộc phải* cho phép tôi tiếp tục các kế hoạch của mình,” Stephenson viết, “trông đợi thành công cuối đường hầm mà bản thân tôi chưa từng mảy may nghi ngờ.”^[52]

Người ta tiếp tục đổ thêm vật liệu. Stephenson thuê hàng trăm công nhân để chia cắt đầm lầy thành các lô trong nửa dặm xung quanh và nạo lớp đất bùn với mai sắc. Khi lớp đất bùn đã khô, Stephenson dùng chúng

để đắp kè. Lúc đầu, chúng chìm xuống đáy. Cuối cùng, đất bùn chùng chắt vươn lên trên bề mặt ẩm ướt của đầm lầy, rồi từ từ lắng xuống để hợp nhất với đường ray nổi. Con đường hoàn thiện, Smiles nói, “trông giống như một sườn núi dài làm bằng sợi thuốc lá nén chặt.”^[53]



Toàn cảnh đường sắt đi qua Chat Moss, chụp bởi nhiếp ảnh gia T. T. Bury, năm 1833.

Dự án đã diễn ra trong sáu tháng. Stephenson ước tính công nhân của mình với cuộc xẻng đã di dời gần 400.000 mét khối vật liệu⁽¹²⁾. Họ cuối cùng đã vượt qua 6 km đầm lầy Chat Moss vào tháng 12 năm 1829. Những kẻ phản đối tuyến đường đã tuyên bố rằng việc thi công ở Chat Moss sẽ tiêu tốn “tới 200.000 bảng.”^[54] Thực tế chỉ hết 27.719 bảng.^[55]

Tuyến đường sắt Liverpool & Manchester đã vận chuyển chuyển hàng thử nghiệm đầu tiên cùng hành khách giữa hai thành phố này vào thứ Bảy, ngày 1 tháng 12 năm 1830.^[56] Trong 18 toa xe, nó đã mang theo 135 túi và kiện bông Mỹ, 200 thùng bột, 63 bao bột yến mạch, 34 bao mạch nha và 15 hành khách. Đầu máy, xe lửa, và hàng hóa tất cả nặng 86 tấn và duy trì tốc độ trung bình 20 km/h. Tuyến đường hoàn chỉnh đã chính thức vận hành vào chín tháng sau, vào ngày 15 tháng 9 năm 1831.

Tuy nhiên, trước đó, vào năm 1829, cha con nhà Stephenson đã phải chứng minh với ban giám đốc của tuyến Liverpool & Manchester rằng đầu máy hơi nước là phù hợp hơn để di chuyển hàng hóa và hành khách so với vận chuyển bằng dây thừng và động cơ tĩnh định, ngày nay đó quả là một sự phân vân kỳ quặc. “Chẳng quá khi nói rằng tương lai của đầu máy hơi nước giờ đã ở thế cân bằng,” theo W. O. Skeat, người viết tiểu sử Stephenson. “... Công bằng mà nói, với những người ủng hộ động cơ tĩnh định thì chúng có độ tin cậy cao hơn trong việc dẫn động, tương phản với đầu máy hơi nước vẫn còn trong giai đoạn trứng nước và hầu như vẫn là ẩn số; tại giai đoạn phát triển này, sự đáng tin cậy thật khó lòng đạt được.”^[57]

Vào cuối năm 1828, ban giám đốc của Liverpool & Manchester đã gửi một số thành viên đi quanh miền bắc nước Anh để tìm hiểu xem các chủ đường sắt khác vận hành đường ray ra sao. Đoàn đã quay trở về “với quyết định bất lợi cho vận chuyển bằng sức ngựa,” một người tham gia đã viết, “và ủng hộ dùng các động cơ tĩnh định.”^[58] Tiếp đó, Stephenson đích thân đi thị sát khu vực, so sánh sức mạnh động cơ tĩnh định với đầu máy, đi đến quyết định ủng hộ đầu máy xe lửa. Ban giám đốc liền thuê hai chuyên gia đi thị sát miền Bắc lần thứ ba nhưng không thể đi đến quyết định dứt khoát, mặc dù họ nghĩ rằng động cơ tĩnh định sẽ hoạt động với chi phí thấp hơn.^[59]

Ban giám đốc vẫn giữ niềm tin vào George Stephenson. Nếu ông tin vào đầu máy, họ cũng sẽ ngả theo ý ông. Nhưng đầu máy nào? Làm sao để họ có thể chọn loại nào trong năm loại đầu máy đang hoạt động bấy giờ: đường sắt có thanh răng của Blekinsop, *Billy Xi Khói* của Hedley, *Phù thủy Lancashire* của Robert Stephenson, *Hoàng gia George* của Timothy Hackworth, *Agenoria* của John Urpeth Rastrick - hoặc một thiết kế mới nào đó chưa xuất hiện sẽ phù hợp nhất cho việc chuyên chở cả hành khách lẫn hàng hóa một cách đáng tin cậy, thường xuyên, đúng lịch trình? Nông thôn nước Anh thường xuyên thì các giống vật nuôi trong các hội chợ bò, hội chợ ngựa, hội chợ cừu và nhiều nữa: nên việc so sánh công khai các động cơ hơi nước cũng sẽ khả thi. Vì vậy, ban giám đốc đã quyết định tổ chức một cuộc thi: giải thưởng lớn là 500 bảng (40.000 bảng hoặc 57.000 đô-la ngày nay) cho động cơ đầu máy vận chuyển hàng hóa và hành khách nhanh nhất trên một quãng đường định trước. Một trong các kỹ sư chuyên

gia tư vấn cho họ, James Walker, gợi ý rằng cuộc đua có thể diễn ra tại Rainhill, một ngôi làng cách 16 km về phía đông Liverpool trên tuyến Liverpool & Manchester mới. Có sẵn động cơ tĩnh định tại Rainhill, Walker khuyên, đi đầu đó sẽ “cho phép ta đánh giá về lợi thế so sánh của hai hệ thống này.”^[60] Ban giám đốc đã chấp thuận.

Vào ngày 25 tháng 4 năm 1829, họ đã công bố một danh sách các “Quy định và Điều kiện” cho cuộc thi Rainhill. Yêu cầu đầu tiên là “động cơ phải tiêu thụ hiệu quả khối của chính nó.”^[61] Khối than đen chứa lưu huỳnh thối qua đất đai đã đặc biệt xúc phạm tầng lớp chủ đất. Yêu cầu này đã được luật hóa trong Đạo luật Đường sắt năm 1825 của Vua George IV. Tuân theo đó, đầu máy xe lửa được thiết kế để đốt than cốc, một loại nhiên liệu sạch hơn than củi, và để thoát hơi nước qua ống khói để tăng gió lò và thổi lửa buồng đốt.

Nếu động cơ này nặng sáu tấn, các quy tắc tiếp theo quy định nó “phải có khả năng kéo toa, hằng ngày, trên đường ray được xây dựng tốt trên một mặt phẳng, một “con tàu nhiều toa với tổng trọng lượng 20 tấn... có vận tốc mười dặm mỗi giờ với áp suất hơi trong lò hơi không quá 50 pound/1 inch vuông.”^[62] Động cơ nhẹ hơn được quy định chở nhẹ hơn.

Quy định tiếp theo yêu cầu phải có hai van an toàn, không cái nào đóng chặt được và một trong số đó phải “hoàn toàn xa tầm với của thợ máy.” Nồi hơi có thể bị nổ. Ban giám đốc muốn không có thảm họa làm xấu mặt cuộc thi của họ, một phần vì mục đích của nó là để quảng bá đường sắt như một phương tiện giao thông công cộng mới và ưu việt hơn. Họ quy định rằng nồi hơi và máy móc liên quan phải chịu được thử nghiệm đổ đầy nước áp suất 1.000 kPa.^[63] Các quy định khác giới hạn tổng trọng lượng của động cơ là sáu tấn và được đỡ trên lò xo, cao hơn “đỉnh của ống khói” không quá 4,5 mét. Giá động cơ không quá 550 bảng.^[64]

Vô số đề xuất nhắm vào động cơ chạy bằng hơi nước, bằng khí nén, hay bằng chuyển động liên tục. Năm đối thủ đã được tập kết, trong khi đám đông, ước tính khoảng 10.000 đến 15.000 người, tề tựu tại Rainhill vào một sáng thu mát trời đầu tháng 10 năm 1829. Có hai chú ngựa được cột chung vào một cối xay cấp năng lượng cho một động cơ, *Cycloped*, hầu như không phải là đối thủ nặng ký.^[65] Bốn chiếc còn lại có *Novelty*, một động cơ mới được hai kỹ sư người London, John Braithwaite và John

Ericsson, đặc chế cho cuộc thi này; *Rocket* của nhà Stephenson; *Sans Pareil* của kỹ sư Timothy Hackworth vùng Darlington; và *Perseverance* của kỹ sư Timothy Burstall vùng Leith.^[66]

Với đầu máy *Rocket*, cha con Stephenson đã chế tạo thứ về cơ bản là một đầu máy tốc độ. Nhẹ, nhanh và mạnh mẽ, nó được tạo ra để trông thậm chí có vẻ nhẹ hơn với màu đen phối với vàng sáng, kiểu trang trí với màu nền thông thường của xe ngựa nước đại, với một ống khói cao sơn màu trắng. Thay vì dùng ống đơn hoặc ống đôi lớn thông thường qua thùng nồi hơi để tạo hơi nước, *Rocket* mang khí đốt nóng từ một buồng đốt riêng qua 25 ống đồng có thành mỏng, đường kính nhỏ, chúng đi xuyên qua nước trong nồi hơi trước khi thoát ra ống khói. Mặc dù nhẹ hơn, những ống dẫn này có diện tích tiếp xúc nhiệt lớn gấp ba lần so với ống đơn hoặc ống đôi lớn.^[67]

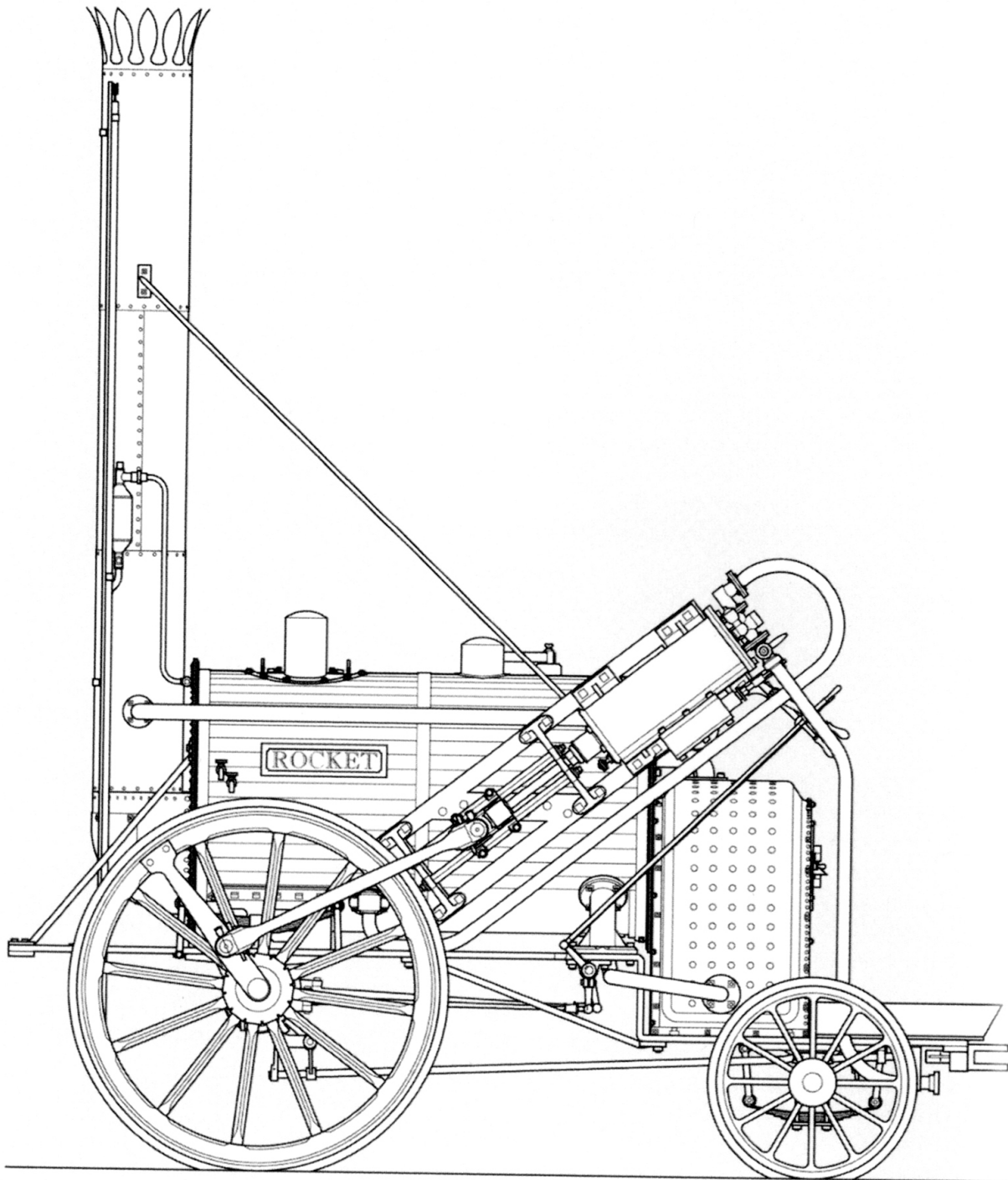


Ghi chú của trọng tài về các thử nghiệm ở Rainhill kèm hình nồi hơi nhiều ống của đầu máy Rocket.

Chưa ai từng thử gắn nhiều ống đồng vào nồi hơi sắt. Chúng được nêo vào vị trí bằng một cục sắt hình nón rộng gọi là vòng sắt nổi. Khi Stephenson kiểm tra kết quả với nước áp suất cao thì nồi hơi phình ra đủ để làm lỏng đường ống. Để cải thiện, Stephenson dùng thứ mà ông gọi là

“bộ giằng”: các thanh sắt dài - các bu lông dài và nhỏ - bắt vít hai đầu của n ữ hơi với nhau và khiến nó trở nên chắc chắn.

Thiết kế sáng tạo của đầu máy *Rocket* đã chứng minh giá trị của nó. Đáng tin cậy hơn so với những động cơ đối thủ và trở thành đầu máy duy nhất vẫn còn chạy được đến ngày cuối cùng của cuộc thi, nó giành phần thắng tuyệt đối. Vào ngày 8 tháng 10, nó đã dễ dàng vận chuyển khối lượng 13 tấn đá và hành khách, vận tốc trung bình khoảng 25 km/h trong 50 đèo qua lại dọc chặng đường thi đấu 2,4 km - một thử thách mô phỏng chặng đường 110 km từ Liverpool đến Manchester đi và về^[68]



Động cơ Rocket của Stephenson tinh chỉnh cho thử nghiệm ở Rainhill.

Khi một đầu máy khác bị hỏng giữa đường trong tuần thử nghiệm, Stephenson đã kịp tách toa than của *Rocket* và chạy đi chạy về bảy lần trên đoạn đường thử nghiệm để chứng minh tốc độ của nó, truyền cảm hứng để một phóng viên của tờ *London Times* thốt lên rằng động cơ này bắt đi với tốc độ phi thường 50 km/h. Thật đáng kinh ngạc trước tốc độ này, khi không kéo toa hàng, nó đã phóng băng băng qua trước mặt khán giả, có thể sánh với lũ chim nhận xé gió trên bầu trời... Sức mạnh của hơi nước là không giới hạn!”^[69] Trong một buổi trình diễn khác, động cơ *Novelty* đã kéo khoảng 45 người đi 65 km/h - rất nhanh, trích lời một phóng viên, “thì chúng tôi hầu như không thể phân biệt được các vật thể bên đường khi chúng tôi băng qua.”^[70] Rõ ràng là tổ tiên của chúng ta chưa có được năng lực nhìn vật thể ở tốc độ cao.

Tình trạng thiếu hụt gỗ đã buộc người Anh phải chuyển sang đốt than. Khi đào sâu hơn kiếm than, mỏ của họ bị ngập, thúc đẩy họ phát minh động cơ để bơm thoát nước. Dâng nước lên bằng lửa, như họ nói - họ thích cụm từ này - chứng minh rằng nhiệt năng có thể được chuyển đổi thành cơ năng. Và nếu nhiệt năng có thể dùng để bơm nước thì sao lại không thể quay bánh xe? Nó có thể được sử dụng trong các xưởng, nhà máy, trên đường trống, trên đường ray với sức mạnh và tốc độ phi thường. Đi đầu đó đã thay đổi gần như mọi thứ, đầu tiên là Anh, tiếp theo là Mỹ rồi trên toàn thế giới.

Kỹ sư người Georgia, James Walker, có tầm nhìn xa đáng nể nhận thấy mới đầu năm 1831 mà cuộc cách mạng đột ngột chuyển từ nhiên liệu hữu cơ sang nhiên liệu hóa thạch đã bắt đầu. “Có lẽ kết quả nổi bật nhất được tạo ra từ việc hoàn thành tuyến đường sắt này,” ông viết về tuyến Liverpool & Manchester mới, “là thay đổi đột ngột và tuyệt vời tác động đến nhận thức của chúng ta về thời gian và không gian... Tốc độ - vận tải - khoảng cách - vẫn là các thuật ngữ tương đối, nhưng ý nghĩa của chúng đã hoàn toàn thay đổi chỉ trong vòng vài tháng: nhanh nay trở thành chậm; xa trở thành gần; những thay đổi trong ý niệm của chúng ta không bị giới hạn trong phạm vi vùng ven Liverpool và Manchester - nó sẽ lan ra toàn xã hội. Quan niệm của chúng ta về thám hiểm, mặc dù lúc đầu chỉ liên quan đến đầu máy, sẽ ảnh hưởng ít nhiều tới toàn bộ tiến trình và diễn biến trong cuộc sống.” Ý của Walker là khi chúng ta di chuyển nhanh hơn, chúng ta sẽ sống nhanh hơn, bỏ lại thế giới chậm chạp vô vị đằng sau, làm mờ đi muôn

loài dọc đường ray, nhìn thấy nhiều hơn nhưng cũng bỏ qua nhiều hơn - hay chỉ ít là nhìn nhận khác đi.

Một hệ quả của việc sống nhanh hơn là đón nhận máy móc công nghiệp; máy móc làm tăng tốc chuyển động và sự thay đổi của chúng ta. “Từ đông sang tây,” Walker kết luận, “và từ bắc xuống nam, nguyên lý cơ học, triết lý của thế kỷ 19, sẽ lan rộng và tự phát triển. Thế giới sẽ nhận được một xung lực mới.”^[71]

Thực tế đã diễn ra như vậy và sự chuyển đổi này là triệt để. Nhưng phần lớn thế giới loài người vẫn chìm trong bóng tối của một nửa Trái đất trong mỗi vòng quay. Các biện pháp khắc phục tình trạng đó như sau: dầu, bắc, mỡ, khí than, cá voi. Tất cả sẽ có cơ hội tỏa sáng.

PHẦN HAI

ÁNH SÁNG

TỪ ĐÈN BẮC TỚI ĐÈN KHÍ

Cây bắc mềm thường mọc xanh tươi dọc theo bờ suối, quanh ao, và trong đầm lầy vùng nhiệt đới. Cao 60 đến 90 cm, mọc quanh năm, nó trở thành sự thay thế giá rẻ cho nứa. “Các cây lớn nhất dài nhất là số một,” nhà tự nhiên học thế kỷ 18 là Gilbert White viết về cây bắc trong ấn phẩm ra mắt năm 1789 *The Natural History and Antiquities of Selborne* (Lịch sử tự nhiên và cổ vật của Selborne) - cuốn sách đầu tiên thuộc thể loại này trên toàn nước Anh. White khuyên thu hoạch nó vào cao điểm của mùa hè, nhưng nó vẫn sẽ dùng tốt ngay cả vào mùa thu.^[1]

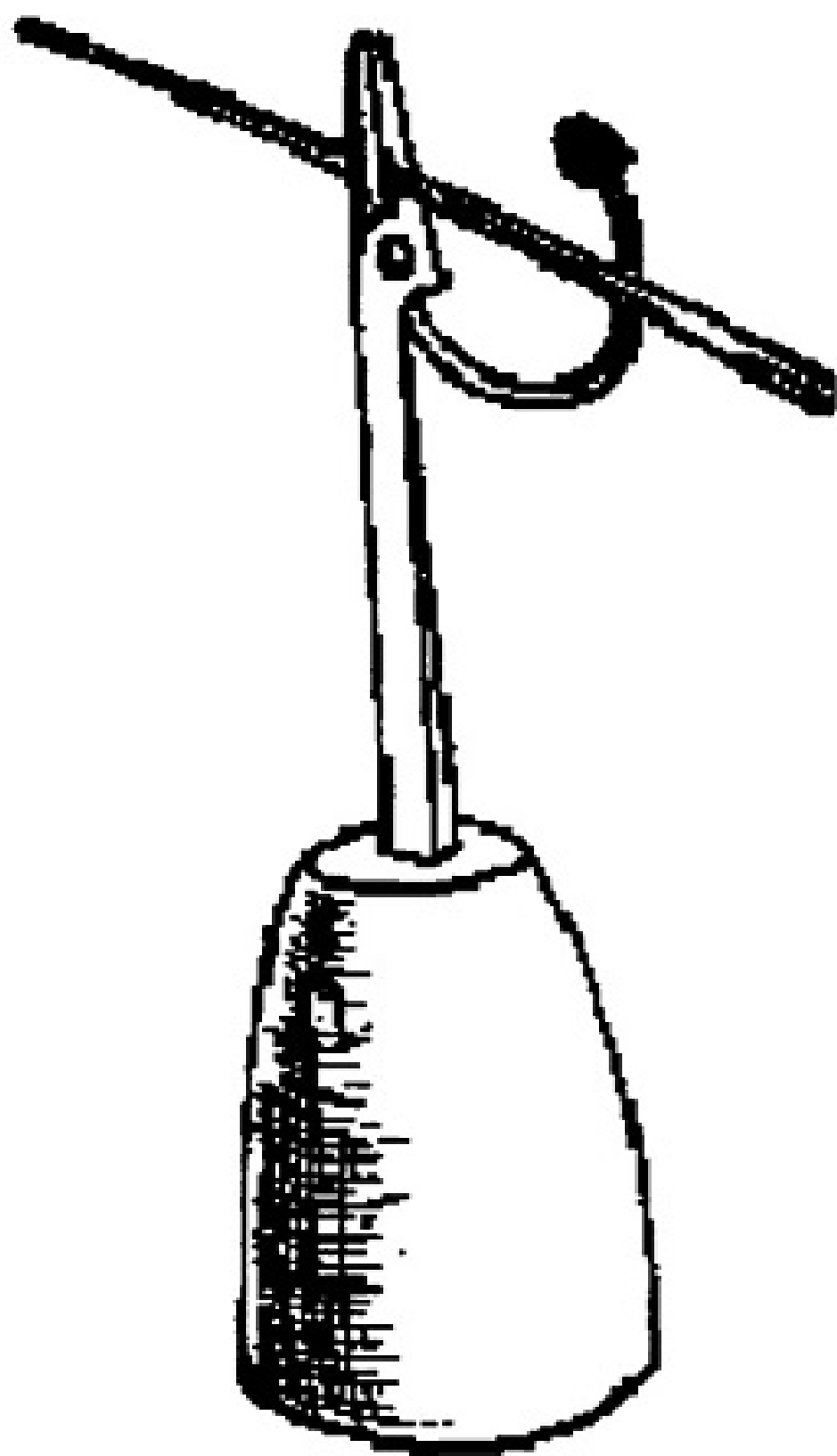
Tước vỏ bắc là một mẹo hay: lột lớp vỏ ngoài “thành đoạn đầu, hẹp, từ trên xuống dưới cố giữ nguyên lõi ruột.” Trẻ con học rất nhanh, White viết, “và chúng tôi từng thấy một cụ bà già, mù hắt, lột vỏ thoăn thoắt và khá đều tay.” Sau đó, phần ruột đã tách này được trải lên cỏ “để tẩy trắng và ngâm sương vài đêm, và sau đó được sấy khô bằng ánh nắng mặt trời.”^[2]

Phần ruột này chính là yếu quyết. Nó là một ống hình trụ rỗng. Trong cây sống phần ruột sẽ đầy nhựa cây; trong đèn bắc chúng sẽ thấm nhiên liệu. Phát hiện ra chi tiết đó, người ta đã nhúng chúng vào mỡ nóng - loại dầu bếp phổ thông. “Váng mỡ thịt lợn xông khói cũng dùng được, White nói, và nó rẻ như cho. “Nếu thợ nuôi ong trộn ít sáp với mỡ, nó sẽ giúp làm đầu hỗn hợp và làm cho nó sạch hơn, bắc cháy lâu hơn; mỡ cừu cũng sẽ có hiệu quả tương tự.”^[3]



Cây bắc mền phổ thông (tên khoa học: *Juncus effusus*). Mặt cắt ngang nhìn được cả thân và vỏ.

White mua một pound bắc khô hết có một đồng shilling, đếm ra được 1.600 thân cây. Thêm hai shilling tiền mĩ - sáu pound - là đủ để dùng hết chỗ bắc đó. White tính giờ cháy của một chiếc đèn bắc này: cháy được 57 phút. Ông tính, 1.600 thân trung bình nửa giờ thắp sáng một thân, “vậy một người nghèo sẽ mua được 800 giờ ánh sáng, hơn 33 ngày, chỉ với ba shilling... Một quản gia già có kinh nghiệm đã bảo đảm với tôi rằng 1,5 pound bắc cung cấp đủ ánh sáng cho gia đình ông ấy quanh năm, người lao động không thắp sáng vào ban ngày, họ đi làm ngay khi trời sáng và đi ngủ ngay khi trời tối.” White cho biết thêm, những nông dân nghèo chỉ thắp bắc vào buổi sáng và buổi tối trong mùa đông trong chuồng gia súc và nhà bếp.^[4]



Đèn bắc để bàn

800 giờ ánh sáng với đi đầu kiện chỉ đốt một ngọn bắc mỗi lần. Đèn đầu hình chiếc thuyền chuyên đựng nước sôi, còn sáng le lói hơn với kết cấu bắc giẻ xoắn làm tim đèn. Đầu có thể lấy từ cây lanh, cây cải dầu, quả óc chó, hoặc gan cá, và ô liu quanh vùng Địa Trung Hải. Trên St. Kilda, ở quần đảo Hebrides phía tây Scotland, người dân biết dùng đầu dạ dày của hải âu Fulmar, một giống chim biển đa năng, da nhòn. “Những cư dân quần đảo Shetland này,” theo ghi chép của các sử gia văn hóa dân gian, “ngay cuối thế kỷ 19, xuyên sợi bắc qua những con hải âu [đã bị giết và được sấy khô], chúng béo và nhòn đến nỗi chúng tiết dầu qua đường tiêu hóa khi bị bắt.”^[5] Đối với người nghèo thì cây bắc và lò sưởi là ngu ồn cung ánh sáng; tầng lớp đi đầu chủ và địa chủ thì dùng nến đầu cải; người giàu dùng nến sáp ong cùng nhiều gương để tạo hiệu ứng lung linh kỳ ảo.

Không có ánh sáng đầy đủ, màn đêm ở nông thôn thường tăm tối, chỉ được điểm xuyết ánh trăng sao. Nguyệt Hội của thành phố Birmingham thế kỷ 18 - tổ chức có những người sống ở nông thôn như Erasmus Darwin, Matthew Boulton, James Watt, Josiah Wedgwood, và nhà hóa học Joseph Priestley - đã tập hợp khi trăng tròn, đủ sáng để tạo bóng lên mặt đất, để họ có thể đi bộ đến cuộc họp của hội.^[6] Nền thơ là vậy nhưng màn đêm thành thị lại tăm tối và ẩn chứa đầy mối họa. Ở thành Rome cổ đại, một sử gia cảnh báo, “đêm trùm lên thành như cái bóng của một hiểm họa to lớn... Mọi người vội chạy về nhà, nhốt mình trong đó, và đóng chặt cửa.”^[7] John Stow, người chép sử thời Elizabeth, nói rằng vào thế kỷ 11, Vua William I - William Kẻ chinh phạt - “ra lệnh mỗi thị trấn và làng mạc phải đánh chuông hằng đêm lúc tám giờ, và tất cả người dân nghe hiệu lệnh phải dập lửa tắt nến, và đi nghỉ.” Ngày nay chúng ta gọi một lệnh cấm như vậy là giờ giới nghiêm, bắt ngu ồn từ cụm *covre le feu* theo tiếng Norman Pháp: “ém lửa đi!” Về sau Henry I đã dỡ bỏ lệnh giới nghiêm của cha mình, Stow kể, nhưng “vì nội chiến trong vương quốc, nhiều người... đã bị cướp bóc và sát hại trong đêm.”^[8]

Vì cá thối rữa có thể phát ánh lân quang mờ, con người đã thử dùng da cá khô để chống cháy nổ trong các mỏ than trước khi Trevithick và Davy phát minh ra đèn an toàn. Đèn da quá mờ để phục vụ cho khai mỏ nhưng đủ sáng để Erasmus Darwin trở về nhà vào ban đêm từ trường y ở Edinburgh vào năm 1754, ông nhặt một cái đầu cá bỏ đi để lấy ánh sáng xem giờ.^[9]

Một người chép sử thời Victoria ở London thế kỷ 18 đã nghĩ rằng đèn đường đốt dầu tốt nhất là để “tạo một tia sáng mờ nhạt, hay đúng hơn là để xua bớt bóng tối ở các góc phố và ngã tư từ lúc mặt trời lặn đến nửa đêm.”^[10] Đèn dầu không phổ biến vào giai đoạn đầu và ở khu vực khai hoang của nước Mỹ, nơi mà việc đọc và làm thủ công phụ thuộc vào ánh sáng lò sưởi (như trong hình minh họa đầy xúc cảm về chàng sinh viên trẻ tuổi Abraham Lincoln đang đọc sách bên đồng lửa) và các mảnh gỗ thông cháy nhựa thay cho nến.

Một mối đe dọa đối với an ninh quốc gia của Anh - hệ quả của sự thiếu hụt gỗ - đã trở thành chất xúc tác để Anh chuyển sang một dạng ánh sáng vượt trội hơn từ than đá trong giai đoạn chuyển tiếp giữa thế kỷ 18 và 19. Lúc này thì con hà, một loài thân mềm hình giun gặm nhấm có thể đục lỗ thân tàu trong nhiều tháng, đã đe dọa hệ thống tàu chiến bằng gỗ của Hải quân Hoàng gia. Các lớp phủ nhựa có nguồn gốc từ hắc ín và nhựa thông đã ngăn chặn lũ hà, nhưng một quốc gia thiếu gỗ tất sẽ thiếu nguyên liệu thô. Hắc ín trở thành một sự thay thế tiềm năng.

Archibald Cochrane, một người Scotland và là Bá tước Dundonald đời thứ chín, sinh năm 1748, có biệt danh là “Dundonald Khùng” do các phát minh mới kỳ quặc của mình, bao gồm cả việc khai thác hắc ín từ than kênh⁽¹³⁾.^[11] Dundonald được thừa hưởng một gia sản gần như kiệt quệ sẵn, con trai ông viết mỉa mai, “do ông mãi mê hỗ trợ một thế hệ nhà Stuart [và] nổi loạn chống lại một thế hệ khác.” Vấn đề của ông, theo người con trai, là “cho quá nhiều sắt vào lò nung”: một hình ảnh hoán dụ mỉa mai tương xứng với nhà công nghiệp kiêm nhà phát minh làm việc với lò nung. “Từng cái một, các phát minh của ông rơi vào tay người khác, một số được mua bán công bằng, nhưng phần lớn trong số chúng bị ăn cắp, nhất là khi dư luận biết rằng ông không còn đủ khả năng để tiếp tục gia hạn bản quyền. Nói tóm lại, cộng thêm bảy đứa con chèo kéo, ông đã tán gia bại sản.”^[12]

Các tàu chiến tải trọng nhỏ hơn của Anh thời Dundonald phải oằn mình chống lại lũ hà bằng đinh sắt đầu to. Dundonald, người từng ra khơi từ h ồi 20 tuổi, đã nghĩ đến việc sử dụng một lớp phủ hắc ín thay cho đinh đầu to để ngăn chặn thiệt hại từ hà khi mới là học viên hải quân. Ý tưởng đó luôn đồng hành cùng ông trong hai năm phục vụ hải quân. Điền trang Culross của gia đình ông, với diện tích 5 km² dọc cửa sông Firth of Forth tới Edinburgh, có cả tài nguyên gỗ, than, muối, quặng sắt, và đất sét chịu nhiệt.

Dundonald trở về nhà để giám sát các mỏ than của mình và phải gánh vác khối nợ ngày càng chồng chất của gia đình và bản thân. Ông nhận tước hiệu gia đình khi bá tước đời thứ tám, cha ông, mất năm 1778.

Phương pháp chiết xuất hắc ín được Dundonald phát minh vào năm 1780 và được cấp bằng sáng chế năm 1781 nhờ cho than cháy âm ỉ trong lò bằng cách kiểm soát không khí thổi vào thay vì đốt lò từ bên ngoài để làm nóng than bên trong, do đó tiết kiệm chi phí nhiên liệu. (Đây là quy trình mà Lord Sheffield đưa vào danh sách các phát minh của Anh sẽ bù đắp cho việc bị mất 13 thuộc địa Mỹ: “Khám phá của Bá tước Dundonald về cách thức sản xuất than cốc cho phép hạ một nửa giá hiện tại.”)

Lò nung của Dundonald sản xuất ra hắc ín và cả hỗn hợp khí than gồm hydro, carbon monoxid, mê-tan, hydrocarbon dễ bay hơi, và một ít carbon dioxid và nitơ. Các con trai ông nói rằng Dundonald đã tình cờ phát hiện ra đặc tính phát sáng của khí than: “Nhận thấy tính chất dễ cháy của hơi phát sinh trong quá trình chưng cất hắc ín, Bá tước đã thử lắp một nòng súng vào ống dẫn ra từ bình ngưng. Khi châm lửa vào đầu súng, một ánh sáng rực rỡ tỏa khắp vùng cửa sông Firth, rõ đến mức có thể nhìn thấy từ bờ đối diện, như người ta kể sau này.” Dù vậy, Dundonald đã bỏ qua sản phẩm này, coi nó là “một hiện tượng tự nhiên gây tò mò mà thôi.”^[13]

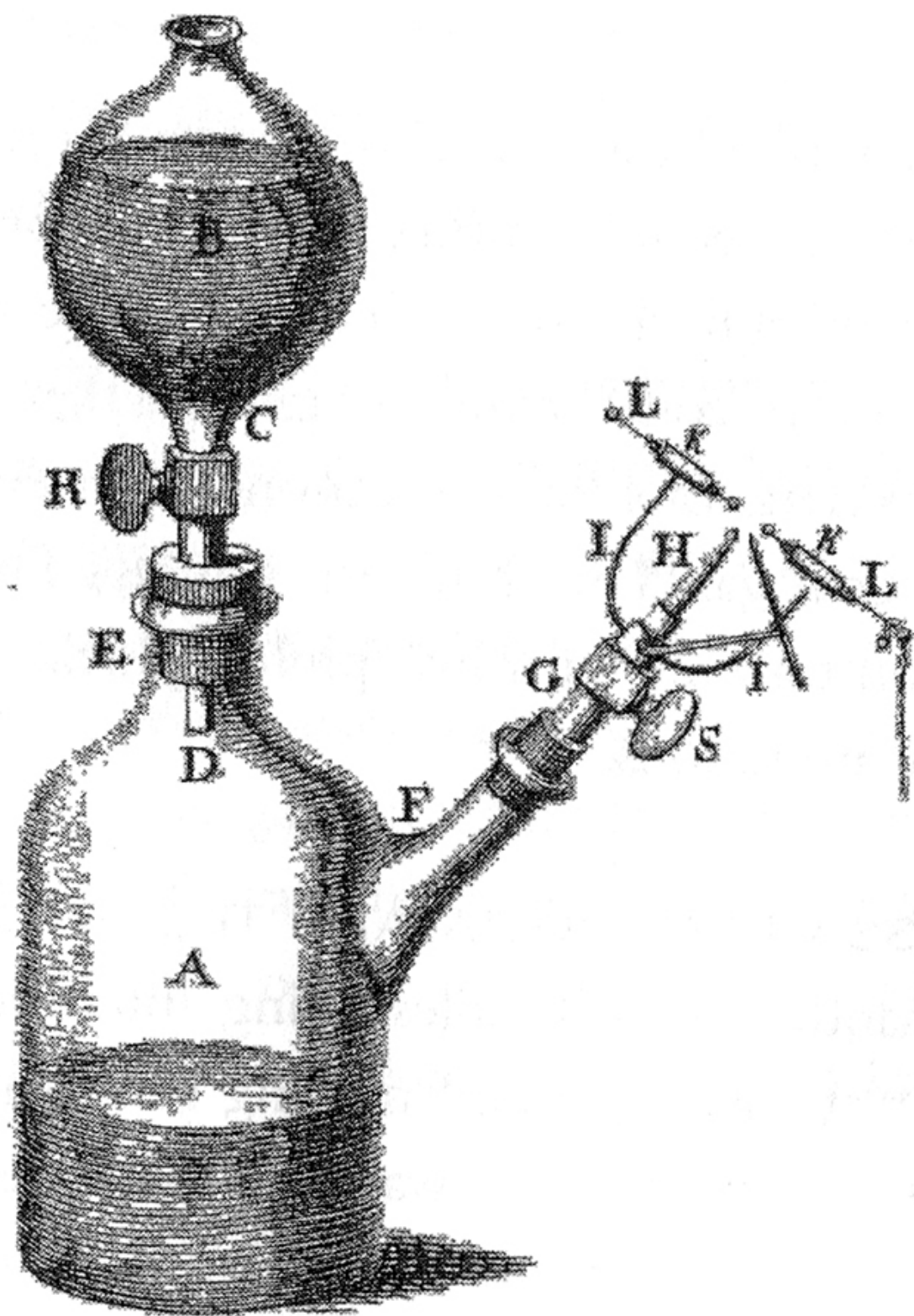
Chắc chắn vị bá tước còn đang bận lo cho ưu tiên thực tế là lấy lại tài sản của gia tộc. Mẹ ông đã viết một cách cay đắng vào quãng thời gian này: “Nó đã tự biến mình thành kẻ khảnh kiệt rồi lại quên mất chuyện đó là tự nó gây ra.” Ông không nhận ra giá trị của sản phẩm phụ dễ cháy từ hắc ín và quy trình sản xuất than cốc của Bá tước có vẻ không mấy sáng tạo.^[14] Một người làm công cao tuổi kiêm thợ rèn từng tham gia các thí nghiệm của Dundonald đã nói với một người chuyên viết điều văn rằng: “Đức ngài... có thói quen đốt khí than trong Tu viện [Culross] một cách tò mò băng quơ. Để phục vụ cho mục đích này, ông đã cho làm một cái bình hình thùng hãm trà lớn; sau đó ông thường xuyên bơm đầy khí đốt vào và mang đến Tu viện để thắp sáng hội trường, nhất là khi ông có bạn đi cùng.”^[15] Người viết điều văn khi nghe chuyện đã suy đoán rằng Dundonald đang mày mò thí nghiệm hắc ín, song khí đốt thô phát sáng yếu và ống nước bằng gang để dẫn khí đốt lại có giá cao, khiến cho việc sử dụng nó ở Scotland thời ấy là không phổ biến.

Bất kể lý do là gì, Dundonald đã bỏ lỡ cơ hội phát triển một sản phẩm thiết thực có giá trị lớn. Tổng bộ Hải quân Anh đã từ chối đề xuất của Dundonald về vỏ chống hà bằng hắc ín, thay vào đó họ chọn đồng làm lớp bọc tàu. Vì bá tước đã phải bán hết phần bất động sản còn lại vào năm 1798 để chi trả các khoản nợ. Ông qua đời trong nghèo đói ở Paris vào năm 1831.^[16]

Tuy nhiên, Dundonald gần như chắc chắn đã giúp Boulton & Watt biết đến khả năng dùng khí than làm nhiên liệu chiếu sáng. Thomas Cochrane vẫn nhớ “như in” chuyến đi đến London với cha khi ông lên bảy vào năm 1782, khi họ ghé thăm James Watt. Ông ghi lại, “Một số chủ đề khoa học được thảo luận trong cuộc gặp gỡ của chúng tôi bao gồm những sản phẩm khác nhau của than, có cả hiện tượng khí đốt phát sáng của lò nung Tu viện Culross.”^[17] Tình cờ thay, đối tác sản xuất công nghiệp của Watt, Matthew Boulton, cũng thảo luận về các dự án sản xuất trong bữa tối với Phu nhân Dundonald trong chuyến du lịch Scotland và Ireland năm 1783.^[18]

Nhiều người khác đã thử nghiệm với khí than vào cuối thế kỷ 18, đặc biệt là người Pháp đang tìm kiếm một nguồn khí đốt rẻ tiền để dùng cho khinh khí cầu sau những chuyến bay khinh khí cầu hơi nóng đầu tiên của anh em nhà Montgolfier vào năm 1783. Nhà hóa học người Hà Lan Jan-Pieter Minckelers tại Đại học Louvain, đã tạo khí đốt từ than cũng như các nguyên liệu thô khác như rơm, gỗ, xương và các loại hạt.^[19] Minckelers đã báo cáo lại những phát hiện của mình trong cuốn hồi ký năm 1784. Ông cho rằng khí than là sản phẩm dễ sản xuất nhất về số lượng và đến năm 1785 ông đã sử dụng khí than để thắp sáng giảng đường của mình. Tuy nhiên ông đã không nghiên cứu xa hơn sau khi trốn khỏi Louvain vào năm 1790 trong cuộc Cách mạng ở Brabant.

Alessandro Volta, trước khi ông phát minh ra cục pin đầu tiên trên thế giới vào năm 1799, đã phát minh ra một dụng cụ thắp sáng dùng khí than và việc thắp sáng đó đã được áp dụng phổ biến trong giới khoa học khắp châu Âu và nước Anh. Trớ trêu thay, mục đích của cỗ máy chế tạo công phu của Volta chỉ đơn thuần là thắp nến (diêm chưa được phát minh trước năm 1828), mặc dù nó cũng được sử dụng để làm đèn.



Bật lửa Volta. Nước ở khoang trên được xả vào khoang dưới A để đẩy khí ra ngoài thông qua vòi H, sau đó được đánh lửa bằng tia lửa bắn vào giữa hai cực L-L (thiết bị đánh lửa không có trong hình).

Charles Diller, một nhà sản xuất dụng cụ người Hà Lan, đã sử dụng khí chưng cất để sản xuất thứ mà ông gọi là “pháo hoa khoa học” phát ra ngọn lửa rực rỡ cho biểu diễn công cộng. Sir Gilbert Elliot, một nghị sĩ đảng Whig, đã tham dự một trong các triển lãm nhà hát của Diller ở London vào năm 1788 với một nhóm bạn. Ông viết thư cho một người quen và nhận xét rằng nó “tuyệt đẹp và thật sáng tạo... Buổi trình diễn mô phỏng pháo hoa nhưng không có tiếng ồn hay khói.” Bằng cách bơm khí được đốt cháy với những màu sắc khác nhau thông qua các ống thoát, Diller tạo ra ngọn lửa như đang cháy từ gốc đến thân và sau đó đến hoa. “Nó đại diện cho các loài côn trùng và động vật khác nhau,” Elliot viết, “và có một cuộc rượt đuổi kỳ lạ nhất của rắn đuôi chuông theo con mồi của nó, và một con chuồn chuồn đuôi bắt bướm.” Một trong các loại khí Diller sử dụng với số lượng lớn là ête, ông gọi (và viết sai chính tả) nó là khí “Hoffman,” phỏng theo giọt Hoffmann, một hợp chất y tế nổi tiếng của ête và rượu: “Mùi khí Hoffman trong phòng mạnh đến mức khiến tôi và bà Johnston rất vui thích, xem ra bà ấy cũng phản ứng với chất Hoffman như tôi. Người khác thì lớn tiếng phàn nàn về mùi hôi thối, trong khi chúng tôi tận hưởng hít thật sâu và đồng ý rằng đó là nó là mùi thơm của *một đêm vui vẻ*.” ⁽¹⁴⁾^[20]

Một công ty pháo hoa của Ý tên M. Amboise đã có một màn trình diễn giống như của Diller tại Philadelphia vào năm 1796. Một người tổ chức sự kiện khác cũng có cùng ý tưởng là Benjamin Healy, tại Haymarket Gardens ở Richmond, Virginia, vào năm 1802. ^[21]

Tất cả các hoạt động này làm cho ánh sáng khí đốt được cả kỹ sư, nhà phát minh và công chúng Anh vào đầu thế kỷ 19 biết đến. Vậy nhưng tổ chức trình diễn trong phòng thí nghiệm và sân khấu thì rất dễ; việc chế tạo và phân phối khí để thắp sáng ở quy mô công nghiệp sẽ khó khăn hơn nhiều. Khó khăn không nằm ở công nghệ mà nằm ở chi phí tài chính khổng lồ. Boulton & Watt nắm giữ các tài nguyên đó; công ty này đã bỏ ra khoản đầu tư lớn đầu tiên vào ánh sáng ga, phần nào miễn cưỡng hỗ trợ công việc của một trong những kỹ sư tài năng nhất của họ, một người Scotland trẻ tuổi tên là William Murdoch.

Cha Murdoch là một chủ cối xay và làm xay xát thuê cho Alexander Boswell, cha đẻ của nhà viết tiểu sử James Boswell. Cậu bé Murdoch, sinh năm 1754, được cho học một trường tốt ở Scotland và cha cậu đã dạy cậu một loạt các kỹ năng phong phú. Hai cha con họ đã xây một cây cầu đá vững chãi bắc qua sông Nith, gần Dumfries. Họ đã cùng lên ý tưởng và chế tạo một tiều thân bằng gỗ của xe đạp. Năm 1777, khi hai mươi tuổi, Murdoch đến nhà máy Boulton & Watt ở Birmingham và tự giới thiệu bản thân với Boulton, có lẽ với thư tiến cử từ James Boswell trong túi áo - Boswell đã đến thăm nhà máy này vào năm ngoái.^[22] Murdoch, vạm vỡ và cao hơn mét tám, trình diện Boulton đầu đội chiếc mũ gỗ mà ông tự thiết kế và tiện. Những phẩm chất và kỹ năng này, cộng với sự chứng thực từ một người địa chủ giàu có và nổi tiếng người Scotland, đã khiến Boulton ấn tượng tới mức thuê ông ngay lập tức.

Chưa đầy một năm sau, Boulton & Watt đã thăng cấp Murdoch lên thợ cả phụ trách mẫu vẽ. Vào mùa thu năm 1779, công ty gửi ông đến Cornwall để lắp ráp động cơ hơi nước cho các mỏ đồng và thiếc ở đó; Cornwall có ít than, làm cho việc dùng động cơ Newcomen cũ quá đắt đỏ để duy trì sản xuất.

Định cư ở thị trấn Redruth, Murdoch không chỉ lắp ráp động cơ Boulton & Watt ở Cornwall mà còn thường xuyên cải tiến chúng. Boulton ca ngợi với Watt vào năm 1782 rằng Murdoch là người làm việc “không biết mệt mỏi,” miêu tả một tuần làm việc “như nô lệ suốt ngày đêm” của ông, giám sát động cơ hơi nước chạy ở ba mỏ khác nhau cùng một lúc. Năm 1784, Boulton gọi ông là “người năng động và là kỹ sư lắp ráp tài giỏi nhất ông từng thấy.”^[23] Nhưng Murdoch lại không hay bỏ công ra cho việc chiếm cảm tình của đối tác. “Tôi ước William có thể làm việc như chúng ta,” Watt phàn nàn với Boulton vào năm 1786, khi người kế nghiệp trẻ tuổi của họ đang bận tâm với việc xây dựng một cỗ xe chạy bằng hơi nước. Watt muốn ông “tập trung vào công việc kinh doanh trước mắt, và cứ để [những kẻ khác] vứt bỏ thời gian và tiền bạc của họ để leo cây tìm cá.”^[24]

Con cá lớn nhất mà Murdoch săn lùng trong những năm sống ở Cornwall chính là đèn khí. Giống như Dundonald và những người khác, Murdoch ban đầu tìm hiểu các sản phẩm chưng cất khác nhau để sản xuất chất bảo quản gỗ. Năm 1791, ông được cấp bằng sáng chế cho “một phương pháp làm... sắt II sunfat [một chất ổn định thuốc nhuộm], acid

sunfuric, và các loại thuốc nhuộm khác, sơn màu; cũng như một hộp chất bảo vệ đáy của tất cả các loại tàu, và gỗ hay phải ngâm trong nước.” Phương pháp này cần nung không phải than mà là tinh thể pyrit (sắt disulfua) “hay các khoáng chất hoặc quặng khác.”^[25] Trong năm lấy bằng sáng chế đó, Murdoch đã chuyển từ dùng pyrit sang than.^[26] Trong một bài báo đọc trước Hiệp hội Hoàng gia mười sáu năm sau đó, ông nhớ lại việc thử nghiệm chưng cất khí từ than “cũng như từ than bùn, gỗ và các chất dễ cháy khác... mọi người đã ngỡ ngàng với số lượng lớn khí thu được từ thí nghiệm, cũng như mức độ sáng chói của ánh sáng phát ra, cùng quy trình sản xuất ra nó.”^[27]

Các sử gia không thống nhất được khi nào thì Murdoch chuyển từ thí nghiệm với đèn khí sang lắp đặt một hệ thống chiếu sáng trong nhà. Mặc dù các tư liệu thời Victoria cho thấy ông đã chiếu sáng cho ngôi nhà của mình ở Redruth bằng khí đốt vào năm 1792, bằng chứng chắc chắn nhất là vào cuối những năm 1790, sau khi ông trở về Birmingham từ Cornwall.^[28] James Boswell đã đến thăm Murdoch tại tòa nhà Redruth của mình vào tháng 9 năm 1792. Ông đã chiêm ngưỡng một số khoáng chất xứ Cornwall trong bộ sưu tập của Murdoch và nhận xét một cách hóm hỉnh trong cuốn nhật ký của mình sau đó rằng “đó là một cảm giác mới lạ... vì hóa ra con trai người tá điền lại có thị hiếu khá thế.” Nhưng ông không đề cập đến bất kỳ ánh sáng khí nào, thứ mà hẳn đã được lắp đặt rồi.^[29]

Những người đồng nghiệp của Murdoch ở Redruth nhớ rằng ông hay làm thí nghiệm trong một xưởng đúc gần đó, sử dụng hộp kim loại đặt trên lửa để chưng cất khí, dẫn nó qua thùng phi cũ, cho phép ngọn lửa bắn ra vài centimet vào không khí hoặc gắn một cái đèn khâu vào vòi để lửa phun thành dạng tia nhỏ hơn. Một trong những đồng nghiệp của Murdoch đã nhớ lại: “Túi da và lụa phủ bóng, bao nhỏ và bình bằng sắt được bơm đầy khí, đốt cháy và mang từ phòng này sang phòng khác, để xác định có thể di chuyển và duy trì nguồn phát sáng đi bao xa. Các thí nghiệm khác thay đổi về chất và lượng của khí được tạo ra bởi các loại than khác nhau.”^[30] Những thí nghiệm này đã cho Murdoch biết cách sử dụng khí đốt như một chiếc đèn lồng trong những chuyến đi buổi tối từ xưởng về nhà: ông bơm khí vào một túi đựng có ống dẫn khí, châm ống dẫn, rồi đeo túi dưới cánh tay như một chiếc kèn Scotland. Khi về đến nhà, ông chỉ việc thổi tắt ngọn lửa, đổ phần khí thừa đi, gấp túi lại và nhét nó vào túi áo.^[31]

Nóng ruột với triển vọng về một hệ thống chiếu sáng hoàn toàn mới mà Boulton & Watt có thể trở thành công ty tiên phong, Murdoch đã trình bày kết quả nghiên cứu của mình cho James Watt Jr. (con trai) ở Birmingham năm 1794, đề xuất rằng công ty nên nộp đơn xin cấp bằng sáng chế. Con trai của James Jr. và con của Boulton, Robinson, đang tiếp quản lãnh đạo tại Boulton & Watt cho hai ông bố nổi tiếng sắp nghỉ hưu, nhưng James Jr. đã thận trọng cảnh báo Murdoch. “Tôi đã nói rằng tôi không chắc liệu đó có phải là một đối tượng thích hợp cho bằng sáng chế mới,” vài năm sau đó ông kể lại, “và tôi đã khá kiên nhẫn [tức là cảnh giác] khi nghe đến chuyện bằng sáng chế, vào thời điểm đang tập trung bảo vệ bằng sáng chế mà cha tôi đã có được để cải thiện động cơ hơi nước.” James Jr. cũng chỉ ra các nghiên cứu trước đây của Dundonald và những người khác, kết luận, “tôi đã khuyên ông Murdoch không nên theo đuổi các thí nghiệm hiện tại, cho đến khi câu hỏi về động cơ hơi nước đã có câu trả lời chắc chắn, và cho đến khi chúng tôi có cơ hội xem xét vấn đề này kỹ càng hơn. Murdoch chấp nhận, và không có gì được thực hiện tiếp cho đến năm 1801.”^[32]

Điều đó không hoàn toàn đúng. Năm 1794, độc lập với Murdoch, James Watt Sr. bắt đầu làm việc trong điều kiện khó khăn cho một thiết bị tạo khí được, một thiết bị sẽ ảnh hưởng đến sự phát triển của công nghệ đèn khí. Lĩnh vực điều trị mới này được gọi là y học khí hơi, phát minh của Thomas Beddoes, một bác sĩ tốt nghiệp Oxford và Edinburgh (và cũng là sinh viên của “John Phốt pho Vui tính” Anderson).

Công việc của Beddoes tại Bristol bắt đầu vào năm 1793 sau một thời gian làm phó giáo sư hóa học tại Oxford: mặc dù có năng khiếu thiên bẩm, ông vẫn bị từ chối một ghế giáo sư hoàng gia danh giá trong ngành hóa học bởi vì ông đã tham gia hoạt động chính trị ủng hộ Cách mạng Pháp. Bố vợ tương lai mô tả ông vào khoảng thời gian này là “một gã Dân chủ béo lùn với những khả năng đáng kể, có tên tuổi lớn trong thế giới Khoa học dưới danh nghĩa một người theo chủ nghĩa tự nhiên kiêm nhà hóa học - tốt bụng và hài hước - một người trọng danh dự và đức hạnh, nhiệt thành, và ngay thẳng... Nếu chịu hoãn các ước mơ chính trị của mình cho đến khi đã xong sự nghiệp ngành y thì anh ta sẽ thành đạt và kiếm được cả núi tiền.”^[33]

Beddoes đang chuẩn bị mở một phòng thí nghiệm nghiên cứu kết hợp phòng khám tại Bristol Hotwells, một trung tâm spa dành cho bệnh nhân

đường phổi, việc này cần sự hỗ trợ và đầu tư lớn. Ông vốn đã giành được thiện cảm của Erasmus Darwin, người đã dần dà giới thiệu ông với Watt. Beddoes lần đầu liên lạc với Watt vào ngày 4 tháng 3 năm 1794, nhấn mạnh vào niềm say mê thí nghiệm của cá nhân ông, Watt tôn trọng cách tiếp cận khoa học này do cả hai người đều chịu ảnh hưởng từ Anderson. Trong những lá thư hằng tuần tiếp theo, người viết tiểu sử của Beddoes mô tả về kinh nghiệm của Beddoes với bệnh nhân thở oxy, khí hydro, khí đặc (carbon dioxid) và hydrocarbonate (khí nước; tức là carbon monoxid và hydro) - cùng với những vấn đề ông gặp phải với thiết bị trợ hô hấp.^[34] Đó chính là những bài toán mà ông hi vọng Watt có thể giúp giải quyết.

Watt gặp phải vấn đề đau buồn hơn. Cô con gái mười lăm tuổi yêu dấu của ông, Jessy, đưa con muộn từ cuộc hôn nhân thứ hai của ông, bị bệnh lao. Khi tình trạng của cô trở nên tồi tệ hơn vào mùa xuân năm đó, Watt đã cầu viện đến Darwin. Ông ấy “đem lại rất ít hi vọng,” Watt kể với bạn mình là Joseph Black, “ngoài việc kê đơn cho sốt và các triệu chứng khẩn cấp khác.” Darwin đề xuất họ thử dùng khí của Beddoes. Beddoes đã thăm khám cho Jessy hằng tuần, nhưng cũng không đem lại cho Watt nhiều hi vọng. Ông đã cho Jessy thở carbon dioxid. Cơ co giật của cô ấy - Watt gọi là các “cơn hoảng loạn” - cùng sức khỏe yếu đã không cho phép ông thử các loại khí hay thuốc khác.

Jessy qua đời vào ngày 6 tháng 6 năm 1794, Watt đã viết cho Black vào thứ Hai sau đó: “Cô con gái đáng yêu của tôi đã qua đời vào sáng thứ Sáu sau quãng thời gian dài đau đớn, cơn sốt của con khi tôi viết cho anh lần trước trở nên nguy kịch⁽¹⁵⁾ và rất trầm trọng, đáng lẽ chúng ta có thể nhận ra sớm hơn nếu không bị lạc lối trước các cơn hoảng loạn của con bé.”^[35]

Để không chìm trong đau buồn, và hi vọng cứu được những người khác - bệnh lao là dịch bệnh khủng khiếp trong thời đại đó, cứ bốn người lại chết một - Watt đồng ý giúp Beddoes bằng cách thiết kế và sản xuất một thiết bị trợ hô hấp. Vào ngày 30 tháng 6 năm 1794, khi ông viết cho Darwin để cảm ơn lời chia buồn của vị bác sĩ, ông giải thích lý do tại sao mình ký hợp đồng với Beddoes. “Tôi đã biết từ lâu, khi không thể kháng cự lại cái ác thì niềm an ủi tốt nhất là chuyển tâm trí sang bất kỳ chủ đề nào khác có thể chiếm lĩnh nó lúc đó.”^[36]

Đến lúc đó, điều đáng nói là chỉ 24 ngày sau khi con gái ông an nghỉ, Watt đã thiết kế và chế tạo thiết bị của mình, như trong lá thư ông gửi cho

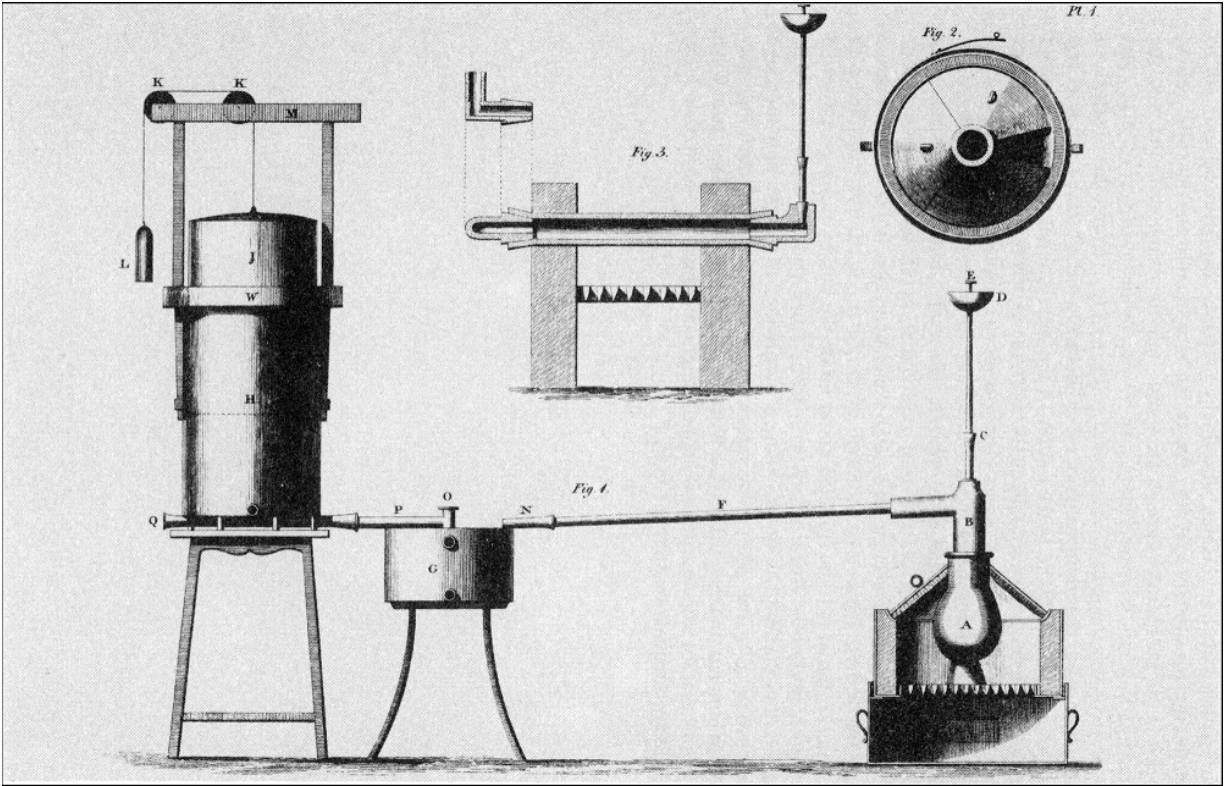
Darwin: “Tôi đã chế tạo ra một thiết bị chiết xuất, làm sạch và thu thập khí độc và khí được liệu.” Ông cũng gửi cho Darwin một cái, và nói thêm, “hi vọng ông có thể thử đủ liều không khí độc và tốt; và tôi hi vọng, trong tay ông, thành công sẽ đạt được.”^[37]

Hai tuần sau, Watt phúc đáp Beddoes, đồng ý cung cấp thiết bị này cho công chúng ở một mức giá chưa được xác định nhưng “đảm bảo miễn nhất có thể.”^[38] Beddoes gửi bức thư kèm với mô tả của Watt về thiết bị trong một cuốn sách ông xuất bản vào cuối năm đó dưới tên của hai người, *Considerations on the Medicinal Use of Factitious [Artificial] Airs, And on the Manner of Obtaining Them in Large Quantities* (Những nghiên cứu về ứng dụng y học sử dụng không khí [nhân tạo], và về cách thức đi đầu chế chúng với số lượng lớn).^[39]

Thiết bị của Watt bao gồm một cái nĩa để chứa các vật liệu được khí hóa - được gọi là “nĩa chưng cất” - với một cái nắp chặt, được đặt trên lò lửa, và nối với một đường ống dẫn đến một bể chứa nước, nơi khí sinh ra trong nĩa có thể được rửa sạch và làm mát. Một đường ống khác sau đó dẫn khí đã làm sạch và làm mát đến thùng đựng khí - một ống bể - nơi khí có thể được tích lũy và chuyển vào túi lụa bôi dầu. Bệnh nhân sẽ hít khí vào từ một trong các túi này.^[40]

Máy của Watt về cơ bản giống hệt với đèn khí ngoại trừ các loại khí bổ sung mà nó tạo ra và chúng được dùng để hít vào thay vì để châm lửa. Watt đã giới thiệu nó vào thời điểm các loại khí và quy trình sản xuất chúng đang được nghiên cứu ở Anh và khắp châu Âu.

Với sự hỗ trợ từ Darwin, con trai út ngoài giá thú của Josiah Wedgwood tên Thomas, Nữ công tước Devonshire và những người khác, Beddoes đã mở phòng thí nghiệm và phòng khám của ông ở Bristol Hotwells vào ngày 21 tháng 3 năm 1799. Nó đã thu hút số lượng lớn bệnh nhân từ khắp nơi, đầu tiên Beddoes đi đầu trị bằng các biện pháp thông thường để đảm bảo năng lực y tế của mình với tư cách là bác sĩ. Về vị trí tổng giám sát phòng thí nghiệm, ông thuê Humphry Davy, hai mươi tuổi, mới hoàn thành việc học ngành hóa học ở quê nhà Cornwall của anh ta.



Máy “tạo khí” của Watt: n ồi chưng cất bên phải trên lò đun, bể làm mát và làm sạch ở giữa, thùng đựng khí ở bên trái. Phễu và đường ống trên n ồi chưng cất đưa chất lỏng vào n ồi chưng. Khí được làm sạch và làm lạnh từ thùng đựng khí được đưa vào túi lụa bôi d ầu. Hình thứ hai ở trên hình đầu tiên là phiên bản “ống lửa” nhỏ hơn của thiết bị này; có một xi-lanh phía trên bên phải ở phía cuối phễu.

Họ cùng nhau bắt đầu thí nghiệm oxid nitơ, các thí nghiệm rất cuộc đã có sự tham gia của James Watt, nhà thơ Samuel Taylor Coleridge và Robert Southey, và sẽ bôi nhọ danh tiếng của Beddoes.

Họ sản xuất khí trong máy tạo khí mà Watt đã thiết kế bằng cách đốt nóng các tinh thể amoni nitrat. Lần đầu tiên Davy hít thử khí, ông đã “la hét, nhảy nhót, chạy” quanh phòng thí nghiệm: hành động của ông trở nên “đa dạng và dữ dội” pha lẫn “sự hưng phấn tột độ ở vùng ngực và tứ chi.”^[41] Ông đã mê mẩn, nhưng cả ông và Beddoes đều không biết phản ứng đó chỉ đơn thuần là say độc. Đối với họ, đó là dấu hiệu đồng thời là một phương pháp điều trị y tế mới có hiệu quả mạnh mẽ - có thể giúp khôi phục chuyển động ở các chi bị liệt hoặc cung cấp năng lượng cho những người tàn tật như Tom Wedgwood.

Chẳng mấy chốc, họ đã chia sẻ khám phá này với bạn bè để tiêu khiển cũng như điều trị cho bệnh nhân, nhiều người trong số đó đã cảm thấy sự

nhẹ nhõm và hoạt bát nhất thời. Davy nghiền loại khí này, lúc nào cũng trữ một túi lụa màu xanh lá cây chứa khí trong phòng để hít riêng hoặc khi đi bộ một mình dọc sông Avon vào ban đêm. Ông đã ghi lại trong cuốn sổ tay của mình khi đang phê thuốc rằng “đường như tôi trở thành một tạo vật vĩ đại, mới được sinh ra và vượt trội so với những kẻ phàm trần khác.”^[42] Southey đã ước đoán rằng “bầu không khí của chốn thiên đường cao cả nhất hẳn phải được tạo thành từ thứ tiên khí này.”^[43] Nhiều hơn một người đã nói đến việc rơi vào trạng thái, theo cách nói của Coleridge, “của thứ niềm vui không lẫn đi đâu được, lớn hơn so với bất kỳ thứ gì trước đây họ từng cảm nhận.”^[44]

Davy cũng nhận thấy rằng loại khí này ức chế cảm giác đau đớn. Sử gia Mike Jay nhận xét rằng một ý kiến trong tuyển tập ra đời năm 1800 của Davy *Researches, Chemical and Philosophical, Chiefly Concerning Nitrous Oxide, or Dephlogisticated Air, and Its Respiration* (Các nghiên cứu, hóa học và khoa học, chủ yếu liên quan đến oxid nitơ, hoặc khí thiếu yếu tố cháy, và việc hô hấp khí này), đã thu hút sự chú ý của giới học giả hơn toàn bộ phần còn lại của cuốn sách.^[45] Câu đó là: “Oxid nitơ trong hiệu quả phong phú của nó xem ra có khả năng làm tan biến nỗi đau thể xác, nó có thể được sử dụng với lợi thế lớn lao trong các hoạt động phẫu thuật không xuất huyết nặng.”^[46]

Nếu có một loại khí vào năm 1800 có thể loại bỏ nỗi đau khủng khiếp của việc phẫu thuật hoặc nhổ răng thì tại sao loài người phải đợi đến năm 1842 cho lần đầu tiên ứng dụng nó trong nha khoa? Jay đã trả lời câu hỏi này một cách thông tuệ: không phải vì Beddoes và Davy “quên” tính năng gây tê của nitơ oxid - nhận xét trong tuyển tập *Các nghiên cứu* của Davy đã làm rõ điều này - mà bởi, trước tiên, hiệu ứng rõ ràng nhất của khí này là gây hưng phấn, không mất ý thức; thứ hai, quan điểm y học và tôn giáo thống trị thời đó cho rằng đau đớn là “‘tiếng nói của thiên nhiên’, một điều kiện cần thiết của cuộc sống,” thậm chí là “một sự kích thích giữ cho bệnh nhân sinh tồn”; và thứ ba, gây mê được coi là không cần thiết và thậm chí xúc phạm đến bác sĩ phẫu thuật, trái ngược với “những yếu tố quan trọng trong phẫu thuật,” tức là “kỹ năng của bác sĩ phẫu thuật và sự dũng cảm của bệnh nhân.” Jay kết luận: “Khi xuất hiện vào những năm 1840, gây mê quả thực đã đáp ứng được nhu cầu của cả bác sĩ phẫu thuật và bệnh nhân: các tiến bộ kỹ thuật đã cho phép việc phẫu thuật trở nên tinh

vi hơn, và khả năng chống chọi của bệnh nhân trở thành một nhân tố hạn chế cần được giải quyết.”^[47]

Thời đại của các nghiên cứu về oxit nitơ Beddoes và Davy cũng là giai đoạn tiểu thuyết gia người Anh Fanny Burney trải qua một cuộc phẫu thuật cắt bỏ vú triệt để mà không gây mê vào năm 1811. Bà đã mô tả trải nghiệm kinh khủng này trong bức thư nổi tiếng gửi chị gái Esther: “Lưỡi thép đáng sợ xuyên vào ngực em, cắt ngang qua tĩnh mạch, động mạch, da thịt, dây thần kinh của em. Em không thể kiềm chế tiếng kêu khóc vang vọng. Em bắt đầu hét không ngớt suốt thời gian mổ... thật đau đớn đến khôn cùng.” Ca mổ cứ thế kéo dài hai mươi phút.

Máy tạo khí của Watt đã dừng bước về mặt y tế ở đó, đồng thời dẫn đến sự phát triển của thắp sáng khí đốt quy mô lớn. Khi William Murdoch quay về Birmingham vào năm 1798, ông tiếp tục công việc trước đây của mình về chiếu sáng khí tại xưởng đúc mới tiên tiến ở Soho mà Boulton & Watt, hiện được tổ chức lại thành Boulton, Watt & Co., vừa mới xây dựng ở ngoại vi thành phố. James Jr. đã làm chứng rằng máy đốt khí than của Murdoch “đã được áp dụng trong nhiều đêm liên tiếp, cung cấp ánh sáng cho [xưởng đúc]... Các thí nghiệm trên các khẩu độ khác nhau được lặp lại và mở rộng trên quy mô lớn. Các phương pháp khác nhau cũng được thực hành để tẩy sạch và thanh lọc [khí], để loại bỏ được khói và mùi khó chịu.”^[48]

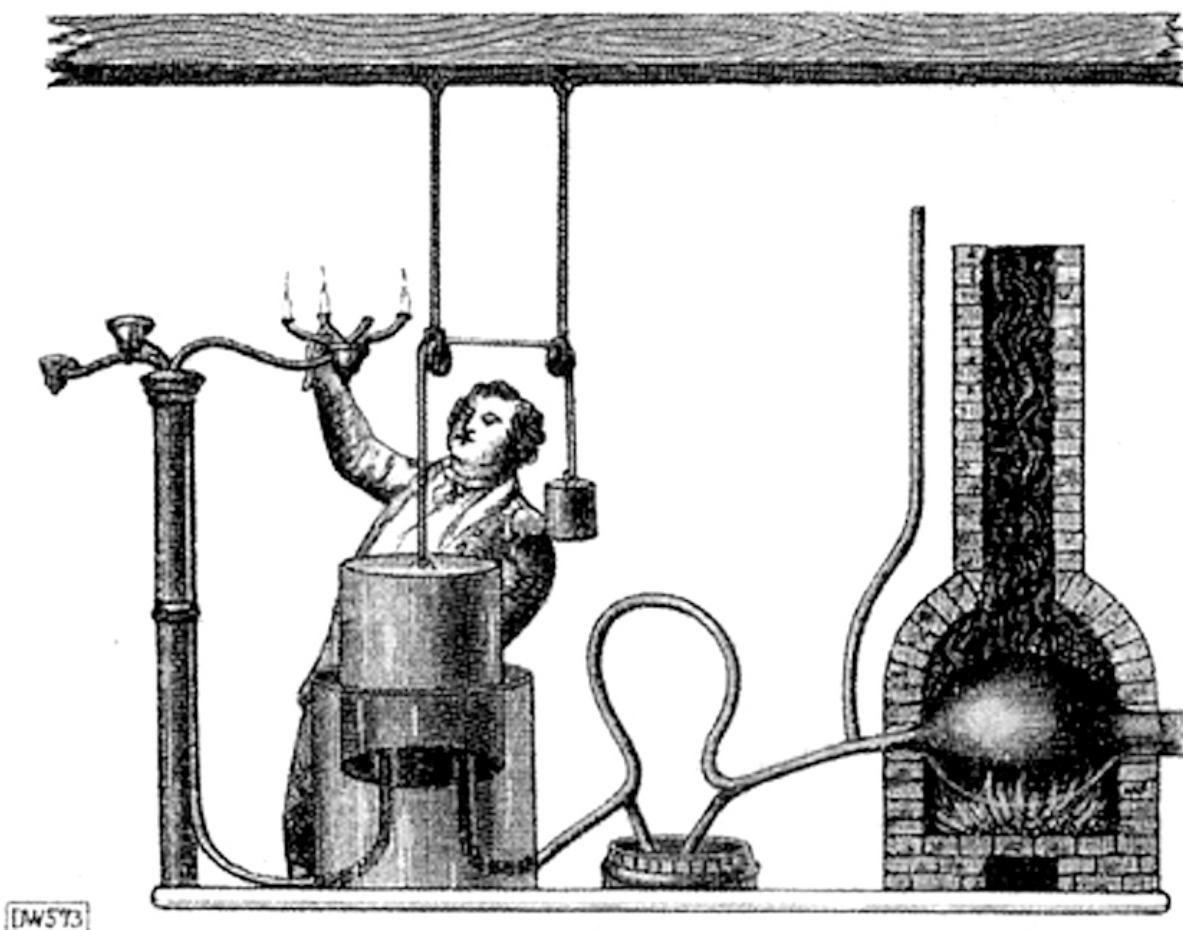
James Jr. đã giải quyết mọi nghi ngờ còn lại về cam kết tham gia kinh doanh của ông trong sản xuất thiết bị đèn khí sau khi anh trai cùng cha khác mẹ của mình đến thăm Paris vào cuối năm 1801. Gregory viết về nhà, “Bảo với Murdoch rằng có một cá nhân ở đây đã không chỉ đơn thuần là chế tạo ra một chiếc đèn với khí gaz [*sic*] sinh ra bằng nhiệt từ gỗ hoặc than mà còn đã thắp sáng ngôi nhà và khu vườn của mình với nó và suy tính đến việc thắp sáng cho cả Paris.”^[49]

Người Pháp coi người đàn ông đó, Philippe Lebon, một kỹ sư Bộ Cầu đường, là người phát minh ra khí phát sáng. Lebon gia nhập bộ khi ông hai mươi lăm tuổi, vào năm 1792 và cùng năm đó đã nhận được Phần thưởng Quốc gia trị giá 2.000 franc (ngày nay là 24.000 bảng, tương đương 34.000 đô-la) cho phát minh liên quan đến động cơ hơi nước.^[50] Bắt đầu cùng thời gian và phần lớn thập niên đó, Lebon đã thử nghiệm với khí phát sáng

được làm từ mùn cưa trước khi đăng kí bằng sáng chế máy tạo khí, ông đặt tên là Đèn nhiệt vào năm 1799.

Giống như hệ thống của Watt, Đèn nhiệt bao gồm một bình cổ cong đặt trên lò đun được kết nối với một bể chứa nước để rửa khí, kết nối với thùng đựng khí, với một ống dẫn từ thùng đựng khí vào không gian được chiếu sáng, kết thúc bằng van xả khí.

Bằng sáng chế của Lebon không chỉ dùng nhiên liệu gỗ mà còn cả “than, dầu, nhựa cây, mỡ động vật và các vật liệu dễ cháy khác.”^[51] (“Dầu” ở đây không phải là dầu hỏa lỏng, thời đó chưa nhận diện được dầu hỏa ngoại trừ các khe dầu rò rỉ bốc cháy ngoài thiên nhiên hạn chế. Lebon có lẽ đang nói đến dầu thực vật như hạt lanh hoặc cải dầu.) Trong một bản tóm tắt được đưa ra vào năm 1801 cho triển lãm chiếu sáng mà Gregory Watt đã đến thăm, Lebon đã đánh giá phát minh của mình là công cụ tiết kiệm lao động, đồng thời nhân cách hóa nó thành một sinh vật thừa hành ngoan ngoãn hơn bất kỳ kẻ hầu người hạ nào:



Đèn nhiệt phiên bản Đức của Lebon năm 1802

Hợp chất thanh tao này có thể di chuyển, ở trạng thái lạnh, dọc theo một đường ống chỉ một inch vuông trong tường và trần nhà^[16] ... Trong nháy mắt ánh sáng có thể được chuyển từ phòng này sang phòng khác theo cách mà bạn không thể làm với lửa thông thường, không tạo tia lửa, cặn dính hoặc bồ hóng; không còn phải vác các thùng nhiên liệu nặng để lên các tầng nhà. Bất kể ngày đêm, ánh sáng và hơi ấm luôn nằm trong lòng bàn tay bạn mà không cần gọi người hầu. Nhiệt có thể biến hóa thành dạng khí nóng, huỳnh quang hoặc ngọn lửa. Nó phù hợp cho mọi trạng thái. Nếu muốn bạn có thể nấu ăn và thậm chí hâm nóng nó tại bàn bên gia đình, làm khô vải lanh, và làm nóng nước tắm. Bạn có thể kiểm soát nó, ra lệnh cho nó xuất hiện hoặc biến mất, và nó sẽ nhất nhất tuân theo còn hơn cả người hầu cận trung thành nhất.^[52]

Tin tức từ Paris đã kích thích James Jr. đề nghị Murdoch hỗ trợ sinh dự án đèn khí tại Soho. “Murdoch đang đi tới Cornwall vì việc riêng,” James Jr. viết cho Gregory vào cuối năm 1801. “Sau khi trở về đây, một số thí nghiệm tiên quyết sẽ được thực hiện để xác định xem chúng tôi có tiếp tục triển khai các kế hoạch của anh ấy hay không.”^[53] Họ đã tiến hành, quyết định trình diễn đèn khí trong dịp ăn mừng Hiệp ước Amiens dự kiến tại xưởng đúc Soho của họ. Anh, Pháp, Tây Ban Nha và Cộng hòa Batavian (Hà Lan) đã lên kế hoạch ký hiệp ước đó tại thành phố Amiens của Pháp vào tháng 3 năm 1802. Hiệp ước đã chấm dứt chiến tranh với Napoleon I và giảm thuế nặng cho người Anh.^[54] Boulton, Watt & Co. đã đặt hàng hàng trăm đèn màu, nến và 14 gallon dầu. Để đáp ứng đơn hàng, họ quyết định đặt thêm hai đèn khí lớn trong bình đồng, một đèn ở mỗi đầu của nhà máy chính. Họ gọi nó là “đèn Bengon”: các phiên bản dùng khí đốt của pháo sáng tín hiệu màu xanh được sử dụng trên biển, phát ra tia lửa hình hoa nở rộ - người Mỹ gọi là pháo hoa que.

Nhà sử học William Matthews đã tham dự sự kiện Soho. “Màn chiếu sáng đáng nể này là màn trình diễn công khai đầu tiên loại hình này ở đất nước chúng ta.” Bên cạnh đèn dầu và đèn khí, pháo hoa thấp sáng cả bầu trời, và ba khí cầu Montgolfier cực kỳ lộng lẫy bay lên nối tiếp nhau từ sân xưởng sản xuất theo các khoảng thời gian thích hợp, với hiệu lệnh từ đại bác.”^[55]

George Augustus Lee, một chủ xưởng ở Manchester kiêm người đam mê công nghệ, đã đích thân đến thăm Soho vào năm 1800 để chiêm ngưỡng công nghệ đèn khí của Murdoch.^[56] Ông rất ấn tượng với những gì mình thấy và đề nghị lắp đặt nó trong một xưởng bông mới mà ông và đối tác, George và John Philips, đang cho xây dựng tại Manchester. Nó sẽ là xưởng bông khung sắt thứ hai được xây dựng trên toàn nước Anh và sẽ là một trong hai xưởng quy mô lớn nhất, làm nóng bằng hơi nước, với động cơ hơi nước cung cấp năng lượng cho máy dệt chạy bằng dây đai.^[57]

Boulton, Watt & Co. đã đầu tư hơn 4.000 bảng (ngày nay là 329.000 bảng, hoặc 478.000 đô-la) cho thiết bị sản xuất đèn khí vào năm 1803.^[58] Sau bốn năm nghiên cứu phát triển, công ty đã lắp đặt hệ thống chiếu sáng khí đốt tại nhà Lee năm 1804 và cung cấp ánh sáng cho xưởng Philips & Lee vào năm 1805, thay thế đèn dầu và nến. Murdoch rất vui khi khí đốt không tỏa ra thứ mà ông gọi là “mùi hôi thối của Soho.” Vợ và các con gái của ông đã đến thăm nhà máy này tối hôm đó, “và khúu giác đài các của các nàng đã không bị xúc phạm.” Lee đã thử các loại đèn khác nhau (thiết bị đầu ra của khí đốt) để xác định phương pháp thấp sáng hiệu quả nhất. Đèn khí - rẻ hơn, sáng hơn, và an toàn hơn - cải thiện điều kiện làm việc của nhà máy nhưng cũng cho phép chủ sở hữu tăng ca không thương tiếc. Một cuốn sách nhỏ của những người bãi công được xuất bản ở Manchester về một nhà xưởng khác tương tự đã mô tả những điều kiện mà ngày nay rất quen thuộc trong các nhà máy ở thế giới thứ ba:

Ở Tyldesley họ làm việc mười bốn giờ mỗi ngày, bao gồm cả giờ dành cho ăn tối; cửa ra vào bị khóa trong giờ làm việc, ngoại trừ nửa tiếng uống trà giải lao; người lao động không được phép đi lấy nước uống, trong nhà máy nóng ngột ngạt; và ngay cả nước mưa cũng không đến tay chúng tôi theo lệnh của ông chủ, nếu không thì họ cũng rất hạnh phúc dù chỉ được uống nước mưa thôi.^[59]

Phát minh Lebon đi vào ngõ cụt ở Pháp. Hàng nghìn người đã tham quan màn trình diễn của ông và đã rất ấn tượng, thậm chí kinh ngạc, với chất lượng và sự sáng chói của ánh sáng so với dầu hoặc nến, nhưng chính phủ Pháp từ chối hỗ trợ xây dựng hệ thống phân phối. Ít cá nhân sẵn sàng móc hầu bao trả 1.000 livre (ngày nay là 2.600 bảng, hoặc 3.800 đô-la) trở

lên cho mỗi Đèn nhiệt. Bản thân Lebon cũng dần buông xuôi dự án của mình. Ông quan tâm nhiều hơn đến sản xuất hắc ín cho tàu biển giống như các đồng nghiệp cùng thời ở Anh hơn là phát triển đèn khí.

Chính phủ Pháp cuối cùng cũng đồng ý vào năm 1803, cấp cho Lebon một khu vực rừng thông gần Le Havre với điều kiện là ông dùng nó để chưng cất hằng ngày 230 kg nhựa thông. Cuối cùng, ông xây dựng một xưởng sản xuất nhựa cây, nhưng một vụ hỏa hoạn đã phá hủy một phần xưởng, nhà riêng của ông cũng bị bão tàn phá. Được triệu tập tới Paris để hỗ trợ tổ chức lễ đăng quang lên ngôi hoàng đế của Napoléon, Philippe Lebon bị một kẻ lạ mặt đâm chết trên đại lộ Champs-Élysées vào tối ngày 2 tháng 12 năm 1804.^[60] Đến cuối năm 1837, Paris vẫn chỉ được thắp sáng bằng đèn dầu.

Triển lãm của Lebon tại Paris đã truyền cảm hứng cho một doanh nhân khoa trương người Đức tên là Frederick Albert Winsor, người đem tin về đèn khí đến London vào năm 1803. Dầu không có thiên bẩm làm khoa học, Winsor lại là một tay bán hàng bậc thầy. Đến năm 1807, ông đã bố trí đèn khí trong trung tâm mua sắm Pall Mall thời thượng, hệ thống chiếu sáng đường phố bằng khí đốt đầu tiên trên thế giới, và thành lập một công ty: Công ty Nhiệt & Ánh sáng Quốc gia & Đế chế Yêu nước Mới, để dẫn khí đốt đến các khu vực công cộng và tư nhân ở London.

Friedrich Accum, một nhà hóa học người Đức đã làm chứng trước Quốc hội ủng hộ đơn xin đặc quyền của công ty này, đã phải giải thích cho các thành viên Quốc hội vẫn còn hoài nghi rằng một ngọn lửa khí “có thể được gia giảm bằng cách nhận khí nhiều hơn hoặc ít hơn khi xoay một nút chặn, nó được chứa trong đường ống, giống như nước hoặc bia đựng trong thùng, và bằng cách xoay vòi, bạn cho nó chảy ra.”^[61] Humphry Davy đã chế giễu khi nghe những lời đó: “Bạn sẽ phải lấp đầy mái vòm St. Peter để có được nhiều khí như bạn cần, và sau đó mọi thứ sẽ nổ tung.”^[62] Các nhà đầu tư người Anh đã hất cẳng Winsor khỏi công ty của ông, đổi tên thành Công ty Đặc quyền Ánh sáng Khí đốt và Than cốc London & Westminster khi Quốc hội Anh phê chuẩn đơn xin đặc quyền vào năm 1810. Đến năm 1814, cầu Westminster đã rực sáng ánh đèn khí, và đến năm 1815, công ty đã lắp đặt gần 50 km đường ống dẫn khí ở thủ đô của Anh, tiếp tục lắp thêm nhiều đường ống nữa trong các thành phố trên cả vương quốc vào các năm tiếp theo.

Các nhà máy khí đốt khu vực cung cấp các nguồn khí đốt cũng phụ trách tẩy sạch “mùi hôi Soho” trong khí đốt bằng kem vôi, một hỗn hợp vôi tôi (canxi hydroxid) và nước. Khí than không được xử lý nòng nặc mùi hydro sunfua có mùi như trứng thối và có độc tính cao. Amoniac là một chất gây ô nhiễm khác, cũng như carbon monoxid, không mùi nhưng dễ gây chết người. Các chất rắn được khí hóa như nhựa than và bồ hóng có thể được lọc khỏi khí than bằng cách sủi bọt qua nước. Kem vôi loại bỏ độc chất trong khí. Do đó kem vôi ngày càng bị ô nhiễm và cuối cùng chuyển thành màu xanh da trời, gần cho biệt danh là “màu xanh billy.” Hợp chất ferro-ferricyanide giải phóng khí cyanua, làm cho nó có mùi hạnh nhân đắng hoặc mùi bánh hạnh nhân. Thành phố phải tập trung chặn khí độc bằng xe đẩy để xử lý, gây ra một phiến toái nghiêm trọng. Nước lọc khí và hấp ín đồ trực tiếp ra cống, suối và sông gây ô nhiễm nặng nề.

Tuy nhiên đèn khí đem lại quá nhiều lợi ích để cưỡng lại. Ô nhiễm hiếm khi là mối quan tâm đầu tiên khi các công nghệ mới được giới thiệu. Glasgow, Liverpool, và Dublin lần lượt được thắp sáng, vào năm 1817-18, và liên tục lan rộng ra các thành phố của Anh. Bây giờ, ánh sáng khí đốt đã vượt Đại Tây Dương đến Mỹ. David Melville, một người kinh doanh kim khí ở Newport, Rhode Island, bắt đầu nghiên cứu đèn khí vào khoảng trước năm 1810, thời điểm ông nhận bằng sáng chế cho đèn khí. Bằng sáng chế thứ hai vào năm 1813 bao gồm một hệ thống sản xuất khí về cơ bản giống công nghệ đang được sử dụng ở Anh, bao gồm một bình cổ cong, một thùng đựng khí thủy tinh, bể chứa nước và đèn đốt. Thùng đựng khí được đối trọng bằng quả cân có thể được gỡ bỏ để hạ thấp bể trên, tạo áp lực để buộc khí lưu trữ đi qua một đường ống đến đèn đốt.

GAS LIGHT.



Quảng cáo cho Bảo tàng Baltimore của Peale, năm 1816

Lần đầu tiên Melville thắp sáng ngôi nhà và đường phố ở phía trước nhà ông có lẽ sớm nhất là vào năm 1806. Trong khoảng thời gian từ năm 1813 đến năm 1817, ông lắp đặt đèn khí cho các xưởng bông ở Watertown, Massachusetts và Providence, và trong cả một ngọn hải đăng ở Rhode Island.^[63]

Gia đình Peale là một danh gia vọng tộc ở Philadelphia có nhiều nghệ sĩ và chủ sở hữu bảo tàng nên không lấy gì làm lạ khi họ sẵn sàng đầu tư đèn khí cho hai trong số các bảo tàng của họ: Bảo tàng Peale trong Hội trường Độc lập ở Philadelphia vào năm 1814, và một bảo tàng cùng tên được

thành lập ở Baltimore vào năm 1816 bởi Rembrandt Peale, một trong những người con trai của Charles Willson Peale. Cả hai có lẽ đã xây dựng hệ thống đèn khí của họ dựa trên thiết kế của Melville, nhưng hệ thống ở Philadelphia được cung cấp nhiên liệu là nhựa thông thay vì than sau khi Rubens Peale thử dùng than và phải chịu rất nhiều phàn nàn từ du khách về khói độc - hệ thống đèn khí được lắp đặt dưới hần, không được thông gió đầy đủ - nên ông phải hạn chế sử dụng.^[64] Dù sao đi nữa, than rất đắt tiền ở Philadelphia trước khi đường sắt băng qua dãy núi Allegheny đi vào hoạt động vào cuối những năm 1840.

Rembrandt Peale thi xuôi chèo mát mái hơn ở Baltimore. Ông đã lắp đặt hệ thống đèn khí của mình trong một tòa nhà phía sau bảo tàng của mình và lọc khí than bằng cả nước và kem vôi. Ông cũng tổ chức một số màn trình diễn vào đêm khai mạc ngày 13 tháng 6 năm 1816, quảng cáo rằng rơm rạ mất khí đốt trong cái mà ông gọi là “vòng tròn ma thuật” của 100 chiếc đèn. Một van đi đầu khiến cho phép ông bật tắt vòng lửa lên, một đi đầu bất khả thi với ánh nến và hầu như không thể thực hiện với dầu.^[65] Khán giả tranh nhau đổ vào bảo tàng trong suốt triển lãm.

Bốn ngày sau khi ra mắt “vòng tròn ma thuật,” thành phố Baltimore cấp sắc lệnh cho phép Rembrandt Peale và bốn doanh nhân ở Baltimore thành lập công ty đèn khí thương mại đầu tiên tại Mỹ, Công ty Đèn Khí Baltimore.^[66] Chưa đầy một năm sau, công ty này đã thắp sáng đèn đường đầu tiên và sau đó là tòa nhà thương mại và ngôi nhà riêng đầu tiên.

Tuy nhiên, đèn khí vẫn phát triển chậm ở Mỹ. “Vào năm 1850,” sử gia Christopher Castaneda ghi nhận, “khoảng 50 khu vực đô thị ở Mỹ đã có hệ thống sản xuất khí đốt. Nói chung, việc thắp sáng bằng khí đốt chỉ có sẵn ở các thành phố cỡ trung bình hoặc lớn hơn, và nó được sử dụng để chiếu sáng đường phố, các cơ sở thương mại và một số nơi cư trú... Khác với khí đốt, dầu cá voi và nến mỡ động vật vẫn tiếp tục là nhiên liệu phổ biến nhất để thắp sáng.”^[67]

Mỡ động vật là phần chất béo đã lọc của gia súc. Dầu cá voi được chiết xuất từ cá voi. Castaneda đã sai lầm về dầu cá voi; loài động vật có vú hiền hòa lớn nhất thế giới này đã cung cấp mỡ và dầu để thắp sáng trong nửa đầu thế kỷ 19 mà chúng còn bị tận diệt gần như hoàn toàn.

TRUY ĐUỔI THỦY QUÁI⁽¹⁷⁾

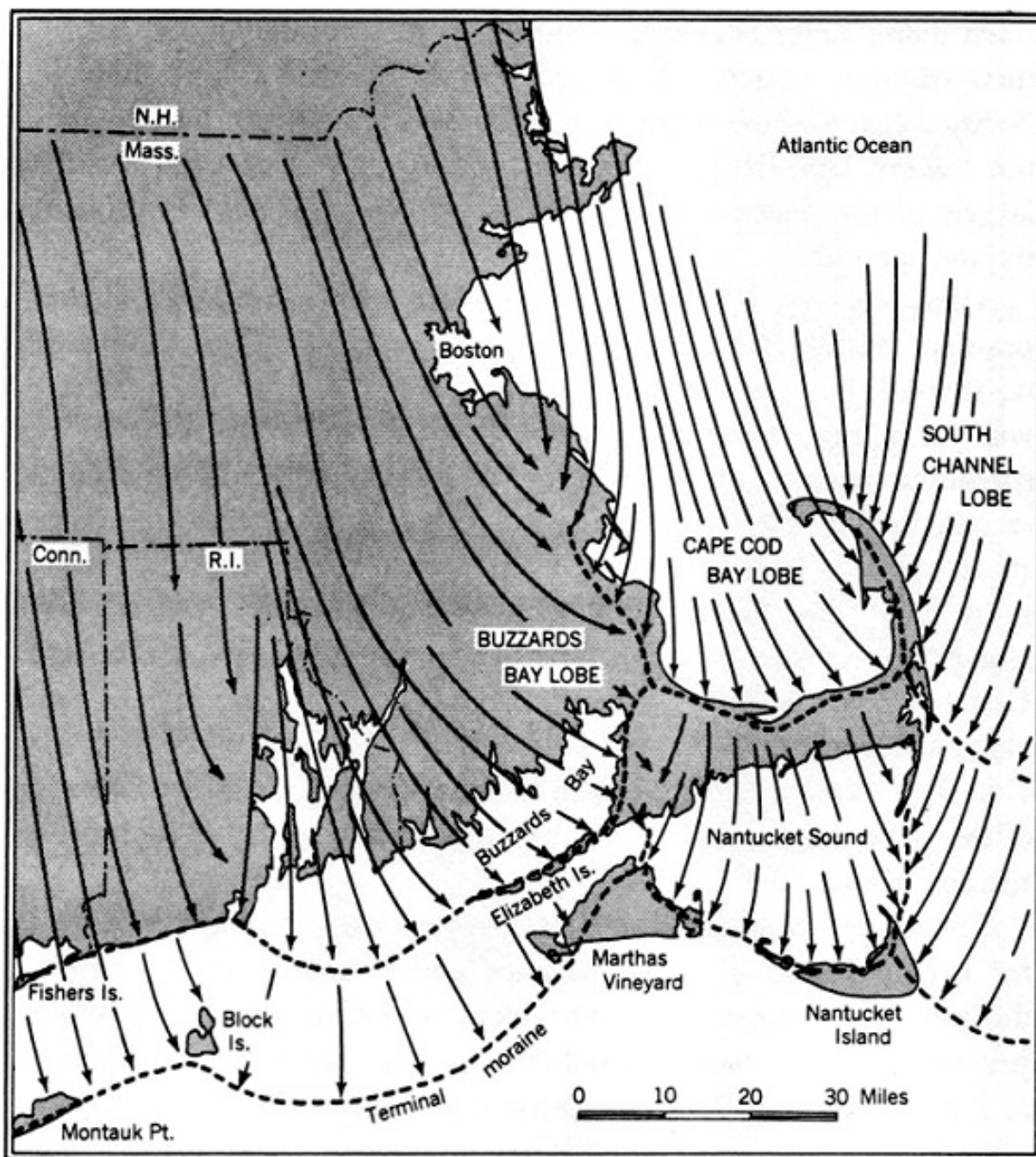
Tuy Francis Rotch, một Giáo hữu ở Nantucket sở hữu một trong những con tàu tham gia sự kiện Tiệc trà Boston,⁽¹⁸⁾ song các Giáo hữu khác ở Nantucket lại không muốn dính dáng gì tới Cách mạng Mỹ. Họ là những người theo chủ nghĩa hòa bình; hòn đảo nhỏ hẹp, không có quân đội bảo vệ của họ nằm ngoài Đại Tây Dương, cách bán đảo Cape Cod gần 50 km về phía nam, là nơi neo đậu rất nhiều tàu săn cá voi mà người Anh sẽ sẵn sàng bắt giữ hoặc thiêu đốt. Bốn mươi năm sau, khi ông đã ở tuổi tám mươi, anh trai của Francis là William Rotch đã ghi chép lại cách thức Mỹ và Anh lợi dụng Hiệp hội Giáo hữu Nantucket trong và sau chiến tranh tàn khốc đến nỗi họ phải tìm cách chuyển doanh nghiệp săn bắt cá voi của mình sang Anh và cân nhắc chuyển sang cả Pháp.

Đảo Nantucket là một trăn tích của cát băng và sỏi còn sót lại do sự tan chảy của dải băng lớn bao phủ nửa trên của Bắc Mỹ khoảng 13.000 năm trước. Đất đảo rất bạc màu (Thomas Jefferson ví nó như một “cồn cát khô”^[1]) và sự cô lập khiến nó gần như hoàn toàn phụ thuộc vào các nguồn cung yếu được vận chuyển từ đất liền. Đó là lý do tại sao hòn đảo từ sớm đã phát triển kinh tế biển.

Sự áp bức cũng như thời thế đã đánh dấu quyết công cuộc khai phá Nantucket. Năm 1657, Thomas Macy, một chủ xưởng cửa thuộc Hội thánh Baptist Thuộc địa Vịnh Massachusetts đã che chở bốn người của Hiệp hội Giáo hữu trong trận mưa như trút suốt một giờ đồng hồ, đồng nghĩa với phá vỡ sắc lệnh chống lại Hiệp hội Giáo hữu và những “dị giáo đáng nguy hiểm rửa” khác.^[2] Tòa Sơ thẩm Massachusetts đã phạt Macy 30 shilling vì sự cố chấp của ông (bằng 208 bảng, hoặc 300 đô-la ngày nay) và ra lệnh cho thống đốc phải cảnh cáo ông. Hành vi phạm tội ở mức độ nghiêm trọng: hai trong số những Giáo hữu mà Macy che chở sau đó đã bị treo cổ.

“Macy ngoan đạo sau vụ việc này đã không thể sống trong thanh thản và hưởng thụ tự do tôn giáo trong quốc gia của mình nữa,” một trong những hậu duệ trực tiếp của Thomas và là tác giả của cuốn lịch sử sớm nhất về Nantucket đã viết. Ông đã “chọn đưa gia đình của mình đến một nơi chưa có người da trắng định cư, sống an phận giữa những kẻ man rợ.” Vào mùa thu năm 1659, Macy cùng gia đình xuôi chèo đến Nantucket trong một chiếc thuyền nhỏ không có khoang.

Nantucket từng có một chủ sở hữu người châu Âu: một thương gia người Anh tên là Thomas Mayhew. Vua Charles I từng “sở hữu” đảo Nantucket hợp pháp theo luật khám phá Tân Thế giới - người Anh phát hiện ra đảo này đầu tiên. Nhà vua ban tặng đảo cho hai nhà quý tộc Anh, họ lần lượt bán nó cho Mayhew. Vào ngày 2 tháng 7 năm 1659 Mayhew đã bán hòn đảo cho chín người đàn ông, bao gồm Thomas Macy, với giá 30 bảng “kèm theo hai chiếc mũ da hải ly một cho anh và một cho vợ anh.”^[3] Trước khi bán, Mayhew đã mua quyền sở hữu đối với một phần của hòn đảo từ hai tù trưởng bộ tộc Wampanoag ở Nantucket, họ còn được gọi là sachem, với giá 12 bảng.^[4] Năm 1662 ông tiếp tục mua thêm quyền sở hữu từ vị sachem tối cao, Wanackmamak, với số tiền 5 bảng “bằng hàng hóa của Anh.” 40 bảng khác được trả để mua phần còn lại của hòn đảo từ những người Wampanoag vào năm 1671.^[5] Thời đó 57 bảng bằng khoảng 7.700 bảng ngày nay, tương đương 11.200 đô-la, là tổng số tiền trả cho cư dân bản địa trên đảo từ thời được truyền miệng là họ đi bộ ra đảo trên mặt sông băng vững chắc Thời kỳ Băng hà.^[6]

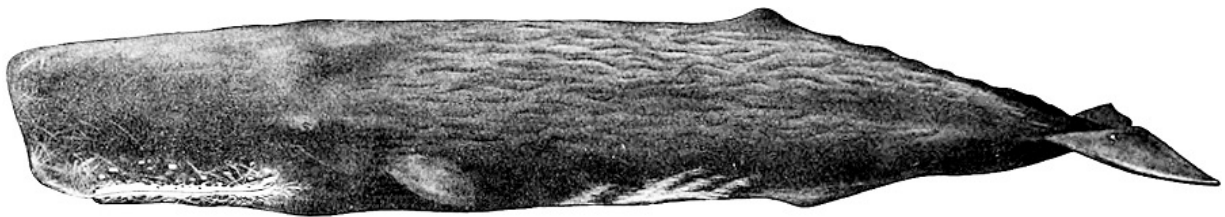


Các thùy băng đã cung cấp cát sỏi tạo thành Cape Cod, Nantucket và Martha's Vineyard khi chúng tan chảy khoảng 13.000 năm trước.

Chín chủ sở hữu và gia đình của họ đã định cư cùng một nhóm người thổ dân Wampanoag đảo Nantucket sau năm 1659 và dựng lên một thị trấn mà họ đặt tên là Sherburne theo quê hương Anh của họ, đổi lại tên thành Nantucket vào năm 1795. Các bệnh dịch theo chân người châu Âu đã triệt hạ dân số Wampanoag, biến họ thành thiểu số, kể từ khi hòn đảo được

khám phá vào năm 1602, lúc đó vẫn còn 3.000 dân Wampanoag. 100 năm sau, vào năm 1763, chỉ còn 358 người Wampanoag sống sót trên Nantucket. Trong năm tiếp theo, 222 người khác chết vì một dịch bệnh không xác định mà một chuyên gia y tế suy đoán có thể là sốt tái hồi do chấy rận, nhiễm trùng xoắn khuẩn tương tự như bệnh Lyme hoặc dị biến của giang mai ít được biết đến ngày nay bên ngoài Đông Nam Á.^[7]

Những người định cư mới ở Nantucket học được cách đánh bắt cá voi theo từng giai đoạn. Thu hoạch xác cá voi chết hay sắp chết trôi dạt vào bờ sau bão là hành động tất yếu, chỉ cần các công cụ cần thiết để cắt một con vật khổng lồ và da dày thép để củng cố lại mùi hôi thối. Đánh bắt cá voi gần bờ - chèo thuyền ra khơi để tấn công những con cá voi dọc bờ biển phát hiện từ các tháp quan sát ven biển - là một tập tục của người Wampanoag. Nó được phổ biến trong số những người định cư châu Âu trên Cape Cod, Martha's Vineyard và bờ biển New England.



Cá nhà táng. Chiều dài: 15-18 mét (chiều dài của một toa tàu đường sắt); trọng lượng: 35-45 tấn. Nó có thể tự làm mát hoặc làm ấm thứ dầu quý giá trong nó, spermaceti, được lưu trữ tại một khoang trong đầu, từ đó làm tăng hoặc giảm tỉ trọng dầu này để duy trì sức nổi.

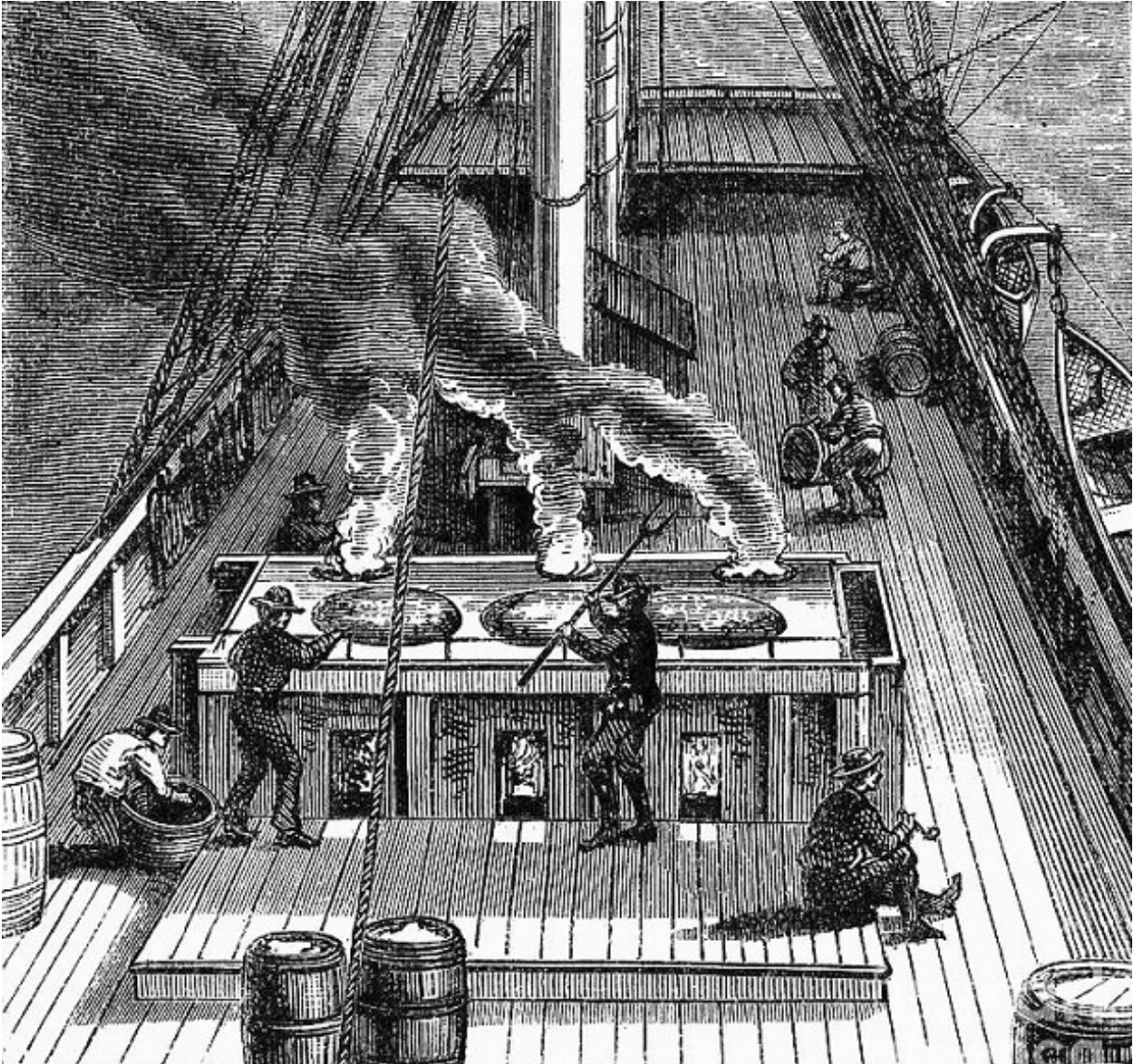
Nhà sử học Alexander Starbuck báo cáo rằng vào năm 1690, những người ở Nantucket, “nhận thấy những người từ Cape Cod thông thạo nghệ thuật đánh bắt cá voi hơn chính họ,” đã thuê một thủy thủ Cape Cod giàu kinh nghiệm tên là Ichabod Paddock để dạy họ cách săn cá voi.^[8]

Người châu Âu săn cá voi để lấy dầu chiếu sáng chứ không vì thịt. Đến thập niên thứ hai của thế kỷ 18, người Nantucket đã xác định cá nhà táng là nguồn dầu chất lượng cao nhất. Họ đã cải tiến từ đánh bắt cá trên bờ đến săn cá voi xa bờ vài ngày, kéo theo một xác cá voi mỗi khi họ bắt được một con để phục vụ sản xuất.^[9] Nhưng cá nhà táng là loài cá nước sâu, sống ở vùng biển trống, và để săn chúng thì ngư dân phải đóng tàu lớn hơn và chuẩn bị cho các chuyến đi dài ngày. Chừng nào họ còn săn bắt ở Bắc Đại

Tây Dương, họ có thể bảo quản các thớ mỡ cá voi chưa chế biến trong thùng trên tàu để xử lý khi về đất liền.

Khi họ bắt đầu săn bắt ở vùng khí hậu nóng hơn - Vịnh quần đảo Verde ngoài khơi bờ biển phía tây châu Phi, vùng Caribe và bờ sông Brazil - thì nhiệt độ cao làm hỏng dầu chưa chế biến. Người ta nhận ra cần phải chế biến dầu thành dầu tinh trong quá trình trung chuyển. Phục vụ cho mục đích đó ngư dân gắn trên boong tàu lò nung bằng sắt và gạch, để trên đó hai hoặc nhiều nĩa gang lớn, lửa ban đầu được đốt nhờ gỗ và sau đó nhờ phần dầu thừa. Với những con tàu có thể mang theo vài nghìn thùng dầu và có bếp trên boong để chế biến dầu trên biển, hạm đội Nantucket đã sẵn sàng đi khắp thế giới đại dương, bất cứ nơi nào có cá nhà táng.

Năm 1774, đội tàu săn cá voi của Nantucket bao gồm 150 tàu với “tải trọng” trung bình là 100 tấn. Đội tàu đem về khoảng 26.000 thùng dầu năm đó, sản phẩm từ khoảng 3.000 con cá nhà táng. Thêm 210 tàu từ các cảng khác của Mỹ cũng bắt đầu săn cá nhà táng vào năm 1774, đưa tổng số tàu lên 360 và tổng sản lượng lên ít nhất 45.000 thùng.^[10] Thử dầu màu trắng đục, được lấy từ khoang đầu cá nhà táng, đông thành sáp trắng khi tiếp xúc với không khí. Phần mỡ thân có thể được chế biến thành một loại dầu có chất lượng thấp hơn và giá trị thấp hơn - được gọi là dầu cá voi (train oil)⁽¹⁹⁾ - nhưng dầu đầu cá dùng cho thắp sáng mới là phần thưởng đắt giá.



Bếp nấu dầi cá voi

Sau năm 1775, với sự đe dọa của chiến tranh, ngành công nghiệp xây dựng trên sự tàn bạo và khai thác tận diệt này sụp đổ. Đầu năm đó, Hạ viện Anh đã bỏ phiếu trừng phạt nhằm ngăn cấm các thuộc địa New England nổi loạn khỏi việc đánh cá thương mại “trên bờ sông Newfoundland, hoặc bất kỳ phần nào khác của bờ biển Bắc Mỹ.”^[11] Những Giáo hữu ở Nantucket, thông qua họ hàng Anh, đã giành được quyền đặc cách đánh bắt cá voi, cũng là lý do quan trọng tại sao họ chịu giữ trung lập trong suốt chiến tranh. Hải quân Anh đã bắt giữ 134 tàu của họ và bắt 1.200 ngư dân, đúng như William Rotch đã lo sợ, và 15 chiếc tàu khác bị đắm ngoài đại dương. Người dân đảo duy trì cuộc sống bằng việc đánh cá gần bờ và làm

nông nghiệp. Trong mùa đông khó khăn năm 1780, bến cảng bị đóng băng, đầm lầy than bùn và cánh đồng trồng trọt ngập sâu trong tuyết, nhiều người đã bị cảm lạnh và chết đói.

“Tuyên bố hòa bình” năm 1784, theo Starbuck, “được tiếp nhận bởi người dân nơi nền thương mại đã bị tàn phá thảm hại... Công việc săn bắt cá voi đã bị hủy hoại và phải xây dựng lại từ đầu.”^[12] Khủng hoảng kinh tế thời hậu chiến càng chồng chất thêm gánh nặng trên đảo, cũng như làm giảm nhu cầu từ người Mỹ đang bắt đầu quen với nền mốt động vật và dầu thực vật mà họ đã phải quay sang sử dụng trong thời chiến. Tất tệ hơn, người Nantucket giờ là công dân Mỹ nên họ cũng là đối tượng của việc đánh thuế trừng phạt mà nước Anh áp đặt nhằm hỗ trợ riêng cho ngành đánh bắt cá voi nội địa. Khoản thuế này đã khiến sự trở lại của ngành đánh bắt cá voi Nantucket chuyển từ lãi sang lỗ gần 8 bảng mỗi tấn, đồng nghĩa với việc đóng cửa hoàn toàn thị trường chiếu sáng ở London giá trị khoảng 4.000 tấn dầu cá voi mỗi năm, tương đương 300.000 bảng (ngày nay là 34.5 triệu bảng, tương đương 49 triệu đô-la).^[13] Đó cũng là thời điểm William Rotch, người chịu thiệt hại lớn từ chiến tranh, đặc biệt là khoản lỗ từ tàu cá voi, với “khoảng 60.000 đô-la” (ngày nay là 715.000 bảng, tương đương 1,02 triệu đô-la), đã tới Anh để xem liệu ông có thể tái thiết nghề săn cá voi ở Nantucket hay không.^[14]

Rotch đi thuyền tới Anh cùng với người con trai hai mươi tuổi của mình, Benjamin, vào ngày 4 tháng 7 năm 1785, cập bến vào cuối tháng đó. Chính phủ Anh khuyên Rotch rằng họ đang bận tâm với các vấn đề trong nước và đề nghị ông đợi vài tháng trước khi trình lên đề xuất của mình.^[15] Dù sao thì bản thân ông cũng còn chuyện khác nữa. Hai cha con lên đường đến miền Tây nước Anh với một Giáo hữu để tham quan bờ biển “tìm địa thế tốt cho ngư dân săn cá voi.” Rotch ưng ý nhất với Falmouth, trên bờ biển phía nam Cornwall do nó có bến cảng lớn, ngoài ra còn có một số bến cảng nhỏ hơn. Các địa điểm khác đã chào đón ông và “mời chào rất ưu đãi,” nhưng ông vẫn chỉ xem xét kỹ cho đến khi biết được điều kiện hỗ trợ từ phía chính phủ Anh là gì. Quay trở lại London, ông cũng dừng chân ở Bristol để thăm mộ của một người em được chôn cất ở đó từ mười tám năm trước.^[16]

Bấy giờ đã là tháng 11, nhưng với lời giới thiệu từ một nghị sĩ, Rotch đã giành được quyền trình diện trước William Pitt Trẻ, người mà trong hồi

ký của ông là Bộ trưởng Tài chính Anh.^[17] Rotch quên đề cập việc Pitt cũng là thủ tướng, người trẻ tuổi nhất từ trước đến nay, được bầu lúc hai mươi tư tuổi và chỉ mới hai mươi bảy tuổi khi gặp gỡ Rotch. Dường như ông cũng chẳng hề hay tin về những cuộc thảo luận cuối tháng 8 về ngành săn cá voi Mỹ của Pitt với vị đại sứ Mỹ mới nhậm chức tại Vương quốc Anh, John Adams.

Adams đã mô tả cuộc gặp của ông với Pitt trong lá thư ngày 24 tháng 8 gửi Ngoại trưởng Mỹ, John Jay: “Ông ấy... dẫn tôi vào một cuộc trò chuyện dài, lan man về nghề săn cá voi của chúng tôi và người Anh.” Cuộc trò chuyện không có gì đáng nhắc lại nhưng vẫn phục vụ cho mục đích của Pitt, chuẩn bị cho việc hỏi Adams “một câu hỏi bất ngờ, liệu chúng ta đã bỏ công tìm thị trường cho dầu của chúng ta ở bất cứ đâu ngoài Pháp hay không... Tôi trả lời rằng tôi tin là chúng tôi đã có, và... chắc chắn dầu đầu cá voi có thể tìm được thị trường ở hầu hết các thành phố lớn ở châu Âu.”^[18]

Tại thời điểm đó, Adams được cho là đã lên lớp vị thủ tướng trẻ về lợi ích an ninh của việc chiếu sáng đường phố, “chất béo của cá nhà táng cho ngọn lửa trong nhất và chiếu sáng đẹp nhất so với mọi chất cháy khác được biết đến trong tự nhiên, và tất cả chúng tôi đều ngạc nhiên khi ngài thích bóng tối hơn, và hậu quả là các vụ cướp, trộm cắp và giết người trên đường phố của các ngài, cho đến khi nhận dầu đầu cá nhà táng của chúng tôi.”^[19]

Adams đã nói thẳng thừng về mối lo ngại rằng Anh có ý định trừng phạt quốc gia mới ra đời của ông. “Có rất nhiều cách để họ làm tổn thương chúng ta,” như trong thư ông viết cho Jay vào ngày 30 tháng 8.^[20] Tuy nhiên, William Rotch đang ở gần London vào thời điểm đó, mong đợi chuyển toàn bộ nghề săn cá voi sang Anh, hoặc ít nhất là một phần đáng kể mà ông và các đối tác đang kiểm soát. Khi Rotch gặp Pitt vào cuối tháng 11, ông thông báo với thủ tướng về “tình hình thảm hại” ở Nantucket, nhắc nhở thủ tướng rằng người dân Nantucket không hề tham gia vào cuộc chiến và đã giữ vị trí trung lập xuyên suốt. “Vậy nhưng, các ngài đã lấy từ chúng tôi 200 tàu buồm,” Rotch buộc tội, “có giá trị 200.000 bảng, một cách bất công và bất hợp pháp.” Luận điểm chính của ông được lặp đi lặp lại nhiều lần là Nantucket vẫn là một phần của nước Anh “cho đến khi bị chia cắt bởi hòa bình.” Vì vậy hòn đảo xứng đáng được đền bù mất mát.

Pitt yên lặng suy nghĩ về yêu cầu của Rotch. “Ngài nói đúng lắm, không nghi ngờ gì nữa! Vậy bây giờ, tôi có thể làm gì cho các ngài?”^[21]

Chưa hề nhẹ nhõm, Rotch nói với thủ tướng, phần lớn người dân Nantucket sẽ phải rời đảo. “Một số sẽ đi vào Đất nước,” ông nói, nghĩa là Mỹ, trong khi số khác “mong muốn tiếp tục nghề cá voi, bất cứ nơi nào thuận lợi để tái thiết lại ngành.” Ông đã cất công đến Anh để thông báo cho Pitt về thảm cảnh ở Namucket và chờ đợi xem chính phủ Anh có khuyến khích ngư dân tái định cư ở đó hay không.^[22]

Câu hỏi đã được đặt ra với người đứng đầu chính phủ, Rotch quay trở lại phòng trọ ở London để chờ câu trả lời. Vài ngày sau, một thông báo được gửi đến xác nhận rằng Pitt đã trình đề xuất của Rotch với Hội đồng Cơ mật, nơi tư vấn cho nhà vua về các vấn đề của đất nước. Rotch mòn mỏi ở London hơn bốn tháng cho đến khi mất kiên nhẫn, ông yêu cầu chính phủ chỉ định *ai đó* để trao đổi với ông.

Người được chỉ định là Lord Hawkesbury, công thần của Vua George III kiêm cố vấn thân cận kể từ khi bắt đầu sự nghiệp chính trị và bộ trưởng chiến tranh giai đoạn nửa sau Cách mạng Mỹ. Ông không có nhiều thiện cảm với nước Mỹ. Rotch đề nghị với ông rằng nước Anh khuyến khích các gia đình săn bắt cá voi ở Nantucket di dời bằng cách trả tiền cho họ: “100 bảng cho một gia đình năm người, kèm 100 bảng cho tái định cư.”^[23] (Ngày nay vào khoảng 23.000 bảng, tương đương 32.000 đô-la cho một hộ gia đình, tổng cộng khoảng 2,3 triệu bảng, tương đương 3,2 triệu đô-la.)

“Ồ!” Hawkesbury phàn nàn. “Đây là một khoản tiền lớn... lại vào đúng lúc chúng tôi đang nỗ lực để tiết kiệm chi tiêu. Thế ông đề xuất đánh đổi đi đâu gì cho chúng tôi để đổi lấy số tiền này?”

Rotch trả lời một cách tự hào, “tôi sẽ cho các ngài vài dòng dõi ưu tú nhất ở Nantucket.”^[24] Họ đã bàn luận sôi nổi trong một cuộc trò chuyện dài. Sau đó Hawkesbury đã mời Rotch ghé thăm.

Rotch đã làm như vậy một vài ngày sau đó, tăng thêm yêu cầu: ngoài đề nghị trả tiền ông muốn 30 tàu Mỹ đến Anh để tái thiết nghề săn cá voi. Không thể được, Hawkesbury trả lời: nước Anh cần tàu của Anh và thủy thủ đoàn người Anh làm lực lượng dự bị cho Hải quân Hoàng gia, đó là chính sách an ninh quốc gia lâu đời của Anh. Ông đề xuất giảm 100 bảng mỗi gia đình xuống còn 87 bảng.

Cách Hawkesbury cò kè từng đồng bạc đã làm cho Rotch bức tức. Nghề săn cá voi của dân Nantucket đóng góp gần 150.000 bảng hằng năm cho kinh tế Anh. Ông đi sang Pháp để mời chào ngành đánh bắt cá voi ở đó, với Hawkesbury gần như đuổi theo ông dọc eo biển Anh. Người Pháp tiếp đón ông nồng hậu hơn. Chính phủ Pháp không thể lạnh nhạt với viễn cảnh này,” Thomas Jefferson viết về vụ việc: “Họ thấy được hiểm họa khi đến 4.000 hoặc 5.000 thủy thủ, dày dạn nhất trên thế giới, được gộp vào sức mạnh hải quân của một quốc gia khác, mang theo một thứ tài nghệ mà họ gần như độc quyền tuyệt đối.”^[25]

Chính phủ Pháp đã đưa ra các điều khoản béo bở cho các Giáo hữu Nantucket, bao gồm quyền tự do tôn giáo và miễn đi lính, nếu họ chọn định cư ở Dunkirk trên bờ biển Channel của Pháp. Vậy nhưng các điều khoản đó vẫn chưa đủ hấp dẫn để lôi kéo người Nantucket khỏi hòn đảo nhỏ ở Đại Tây Dương. Chỉ có chín gia đình với tổng cộng 33 người chuyển đến Dunkirk.^[26]

Jefferson đã vẽ một viễn cảnh gây nản lòng về nền kinh tế săn bắt cá voi cho chính phủ. Bởi vì dầu cá voi thông thường phải cạnh tranh với dầu thực vật rẻ hơn, ông viết vào năm 1789, “ngành săn cá voi là ngành nghèo nhất mà một thương gia hoặc thủy thủ có thể đâm đầu vào.”^[27] Tuy nhiên, ông đánh giá các sản phẩm đặc thù từ cá nhà táng có chất lượng vượt trội. Dầu cá nhà táng “sáng chói,” Jefferson giải thích, “chống đông” đến 5°C, “không hề có mùi khó chịu. Do đó nó được sử dụng trong nhà để thắp sáng cửa hàng, cả cho tiều phu, cầu thang, hành lang của những ngôi nhà giàu có nhất... Tại thị trường London dầu cá nhà táng có giá gấp ba dầu cá voi thông thường. Điều này cho phép người đầu cơ [nhà cung cấp] nộp thuế [cho Anh] 18 bảng 5 shilling mỗi tấn mà vẫn có lợi nhuận cao.” Ngoài dầu, Jefferson nói thêm, dầu cá nhà táng “mang lại ba hoặc bốn thùng chất nhờn, từ đó cung cấp sáp cá nhà táng để rán dùng làm thuốc và nến. Nguyên liệu đó được bán theo pound với giá gấp đôi giá dầu.”^[28]

Đây là tương lai của việc săn bắt cá voi ở Mỹ, mặc dù Jefferson rất bi quan về lợi nhuận của nó một khi các đối thủ cạnh tranh và các khoản phí và trợ cấp của chính phủ lại xuất hiện. Sau Cách mạng Mỹ, những người giàu có chuyển từ nền mớ động vật sang sáp cá nhà táng và người nghèo chuyển sang dầu cá voi, thứ rẻ hơn các loại dầu thực vật. Tàu săn cá voi ở New England mở rộng việc săn lùng đến Quần đảo Falkland và Patagonia

ở cuối cực nam Nam Mỹ.^[29] Cuộc mở rộng lãnh thổ lớn nhất của nghề săn cá voi Mỹ nở ra vào năm 1791, khi một tàu săn cá voi Nantucket tên *Beaver* vòng qua Cape Horn và săn bắt 17 tháng ở vùng biển Thái Bình Dương, chiếc tàu đầu tiên của hạm đội Mỹ làm vậy.^[30] (Một tàu đánh cá Anh, *Amelia*, đã vượt qua Cape Horn để tiến vào Thái Bình Dương vào năm 1789.) Một con tàu từ New Bedford, Massachusetts, *Rebecca*, đã đi theo tàu *Beaver* vào năm 1791.

Ngành dầi cá voi tiếp tục phục hồi khi bước sang thế kỷ 19. Đến năm 1807, hạm đội Nantucket đã có 46 tàu; New Bedford có 40 tàu.^[31] Đi vòng qua Cape Horn, các tàu Mỹ hiện tìm được khu vực tập trung cá nhà táng đông đảo gần bờ biển Chile: những khu vực gần đất liền. Nhưng Anh vẫn chưa để yên cho thuộc địa cũ này. Tiếp tục gây chiến với Napoléon vào tháng 5 năm 1803 trong khi dân số nhỏ hơn nhiều so với Pháp, Anh cần nhân lực cho hải quân. Vương quốc Anh bắt đầu giao chiến với tàu Mỹ và bắt giữ thủy thủ, tổng cộng khoảng một vạn người từ năm 1800 đến năm 1815, những người mà Anh tuyên bố là đào ngũ từ Anh. Trong thực tế, chỉ có khoảng một nghìn thủy thủ đúng là người đào ngũ.^[32]

Tổng thống Thomas Jefferson đã đáp trả việc cưỡng bách tuyển quân này bằng cách đề xuất cấm vận xuất khẩu sản phẩm từ việc đánh bắt cá voi của Mỹ, được Quốc hội thông qua vào ngày 21 tháng 12 năm 1807. Việc săn bắt cá voi có thể tiếp tục - ở một mức độ nào đó - nhưng thị trường trong nước cho dầi và các sản phẩm cá voi khác rất hạn chế. Luật cấm vận này trở thành một thảm họa kinh tế đến nỗi Jefferson yêu cầu Quốc hội sửa đổi nó thành một đạo luật cấm giao thương, đưa tất cả các quốc gia trừ Anh và Pháp khỏi danh sách cấm vận và không cho phép tàu của hai quốc gia này tiến vào lãnh hải Mỹ. Ông đã ký đạo luật sửa đổi vào ngày 1 tháng 3 năm 1809, ba ngày trước khi kết thúc nhiệm kỳ tổng thống.

Chiến tranh năm 1812 đưa Mỹ và Anh xung đột vũ trang trở lại. Lúc này hầu hết đội tàu Nantucket đang ở Thái Bình Dương; khi nghe tin chiến tranh họ liền vội quay về Nantucket và cập cảng tại đây để bảo vệ các cảng tại Boston, Newport hoặc New Bedford. Người Anh bắt được 14 tàu cá Nantucket. Đội tàu Peru tuyên bố là đồng minh của người Anh cũng tấn công đội tàu Thái Bình Dương này. Khi kết thúc cuộc chiến vô nghĩa đó vào năm 1815, Nantucket đã mất một nửa số tàu.^[33]

Người Nantucket nhanh chóng hồi phục. “Ngay lập tức tất cả trở nên vội vàng và nhộn nhịp,” Starbuck nhận xét. “Các còi tàu, mới đây vốn vắng vẻ, nay tràn đầy sức sống; những con tàu, mới đây còn bị bỏ bê, nay được trang hoàng; khuôn mặt của mọi người, mới đây ngập tràn bất mãn, nay rạng rỡ hi vọng.” Vào tháng 5, hai tàu đã ra khơi; vào tháng 6, bảy tàu nữa. Năm 1816, hơn 30 tàu săn cá voi một lần nữa rong ruổi ở miền Bắc và Nam Đại Tây Dương, Ấn Độ Dương và Thái Bình Dương.^[34]

Năm năm sau, Nantucket sở hữu 72 tàu săn cá voi. Đội tàu này tiếp tục tăng lên trong suốt thập niên đó. Số lượng cá voi suy giảm tương ứng trên các khu vực bị săn bắt ráo riết, buộc các tàu phải ra khơi xa hơn. Vào năm 1818, tàu *Globe* của Nantucket đã phát hiện ra một khu vực mới ở vùng biển rộng phía tây Nam Mỹ: 5.800 km kéo dài dọc theo đường xích đạo từ Peru ra trung tâm Thái Bình Dương. Vào giữa những năm 1820, hơn 50 tàu đã chen chúc săn lùng trong khu vực này vào mùa cá voi.^[35]

Nếu khí than thấp sáng các cửa hàng ở các thành phố lớn nhất của Mỹ và Anh và các lối đi của các nhà máy thì nển và dầu vẫn chiếu sáng nhà riêng, khu thương mại, các tòa nhà công cộng, ngọn hải đăng và trang trại nơi người Mỹ sống và làm việc. John James Audubon, nghệ sĩ người Mỹ gốc Pháp đã đến Anh từ New Orleans vào năm 1826 để giám sát việc in ấn tác phẩm bốn tập đồ sộ của ông *The Birds of America* (Các loài chim Mỹ), đã bị lóa mắt bởi ánh đèn khí mà ông gặp ở Liverpool trong mấy tuần đầu tiên ông đến đây. Đó là một thị trường mới, ông đã viết trong nhật ký, “một tòa nhà lớn, cao và dài được chia thành năm đại lộ rộng rãi, mỗi đại lộ chứa hàng hóa chuyên biệt,” được thấp sáng bằng khí đốt rực rỡ “đến nỗi dầu đã 10 giờ tối tôi vẫn có thể nhìn rõ màu mắt của các chú chim bồ câu trong lồng.” Mặc dù ông đã đến thăm và làm việc tại các thành phố của Mỹ từ Boston đến New Orleans, Audubon chưa bao giờ trông thấy một hệ thống chiếu sáng khí đốt lớn như vậy ở quê hương thứ hai của mình.^[36]

Thế nhưng dân số Mỹ đang tăng nhanh, từ 5,3 triệu người năm 1800 thành 12,9 triệu vào năm 1830, và từ 16 bang vào năm 1800 lên 24 bang vào năm 1830, hầu hết phần tăng thêm diễn ra dọc các rặng núi miền tây Appalachia. Tàu hơi nước trên sông từ năm 1807, kênh đào Erie giữa Albany, New York, và Đại Hồ năm 1825, đường sắt năm 1829, tất cả đã thâm nhập vào nước Mỹ hoang dã và thúc đẩy công cuộc khai phá. Những nơi này và những người ở đó đều cần thấp sáng.

Kỷ nguyên săn bắt cá voi mở ra sau Cuộc chiến 1812, từ khoảng năm 1817 đến giữa những năm 1850, được gọi là thời hoàng kim của đánh bắt cá voi. Cảng chính chuyển từ đảo Nantucket sang New Bedford, bên dưới Cape Cod ở miệng sông Acushnet. Một bãi cạn ở lối vào cảng Nantucket - cồn Nantucket - đã cản trở việc qua lại của những con tàu ngày một lớn hơn và chở nặng hơn của thời hoàng kim lớn; hàng nghìn thùng dầu trong khoang được vận chuyển một cách nặng nhọc xuống xà lan và được chở qua cồn để vào bến cảng với chi phí cắt cổ kèm theo.

Cuối cùng, một doanh nhân người Nantucket, Peter Ewer, đã đối đầu với thách thức này.^[37] Dựa trên kinh nghiệm của các tàu Hà Lan di chuyển qua vùng nước nông vào vịnh Zuider Zee, Ewer đã thiết kế và xây dựng nên thứ mà ông gọi là “lạc đà”: hai bè nổi dài 41 mét, có thể chìm dưới nước và định vị ở hai mạn trái phải dọc theo tàu cá voi với dây xích trượt dưới thân tàu để cố định tàu giữa hai bè. Động cơ hơi nước sau đó sẽ bơm căng bè, làm chúng và con tàu nổi lên đủ cao để vượt qua cồn trong khi một tàu khác kéo chúng cập cảng.

Những người Nantucket phe bảo thủ đã chống lại phát minh của Ewer khi nó ra mắt lần đầu tiên vào đầu tháng 9 năm 1842, nhất là khi các dây xích nổi lần lượt bị gãy và làm hỏng lớp vỏ đồng của con tàu được kéo, tàu *Phebe*. Ewer ngay lập tức đặt làm loại xích chắc chắn hơn. Vào ngày 21 tháng 9, “lạc đà” của ông đã đưa tàu cá voi *Constitution* vượt qua cồn và đi ra biển. Gây sốc hơn, vào ngày 15 tháng 10, họ đã thành công khi vận chuyển một tàu săn cá voi chất đầy hàng.

Nhiều rắc rối khác đã bủa vây Nantucket trong những năm 1840 và 1850: một vụ hỏa hoạn thảm khốc năm 1846 thiêu trụi khu vực ven bờ và trung tâm thị trấn; cơn sốt vàng California từ năm 1848 đến năm 1855 đã lấy đi của hòn đảo 800 thủy thủ trẻ tuổi mạnh khỏe háo hức với giấc mơ vàng. Nhiều thủy thủ đoàn đến từ các cảng cá voi Mỹ đã bỏ sang tàu khác ở Bờ Tây trong những năm đó, bao gồm cả nhiều sĩ quan. Nhiều người đã vội vàng theo đuổi cơn sốt vàng để có cơ hội miễn phí đến California.

Đến thập niên 1850, để tránh xa những thợ săn Lilliputian dai dẳng, những người thường đâm cá voi bằng lao và cắt chúng đến chết bằng những lưỡi mai sắc nhọn, đàn cá voi đã dần rút về vùng biển phía đông bắc Nhật Bản hoặc lên tận Bắc Băng Dương. Giống như nạn khan hiếm củi đốt ở nước Anh thời Elizabeth, khoảng cách gia tăng từ bãi săn đến thị trường

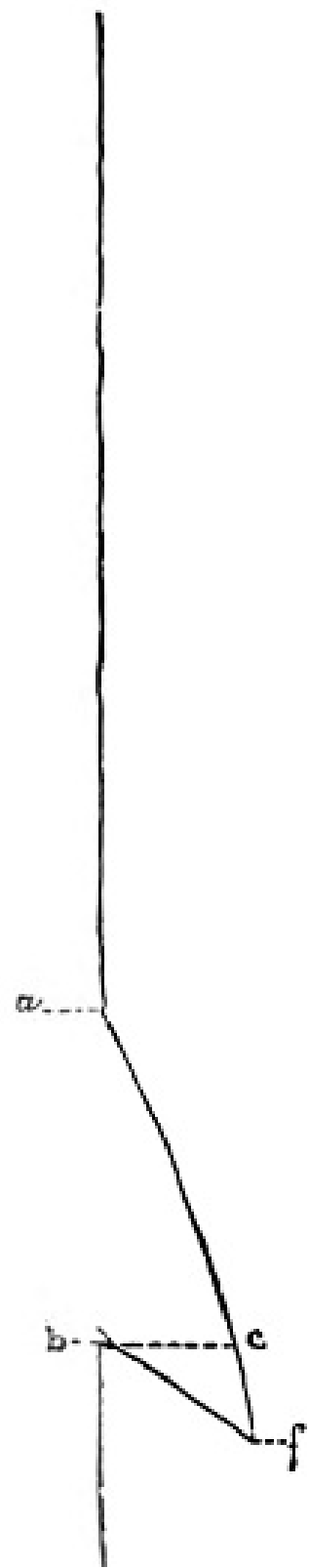
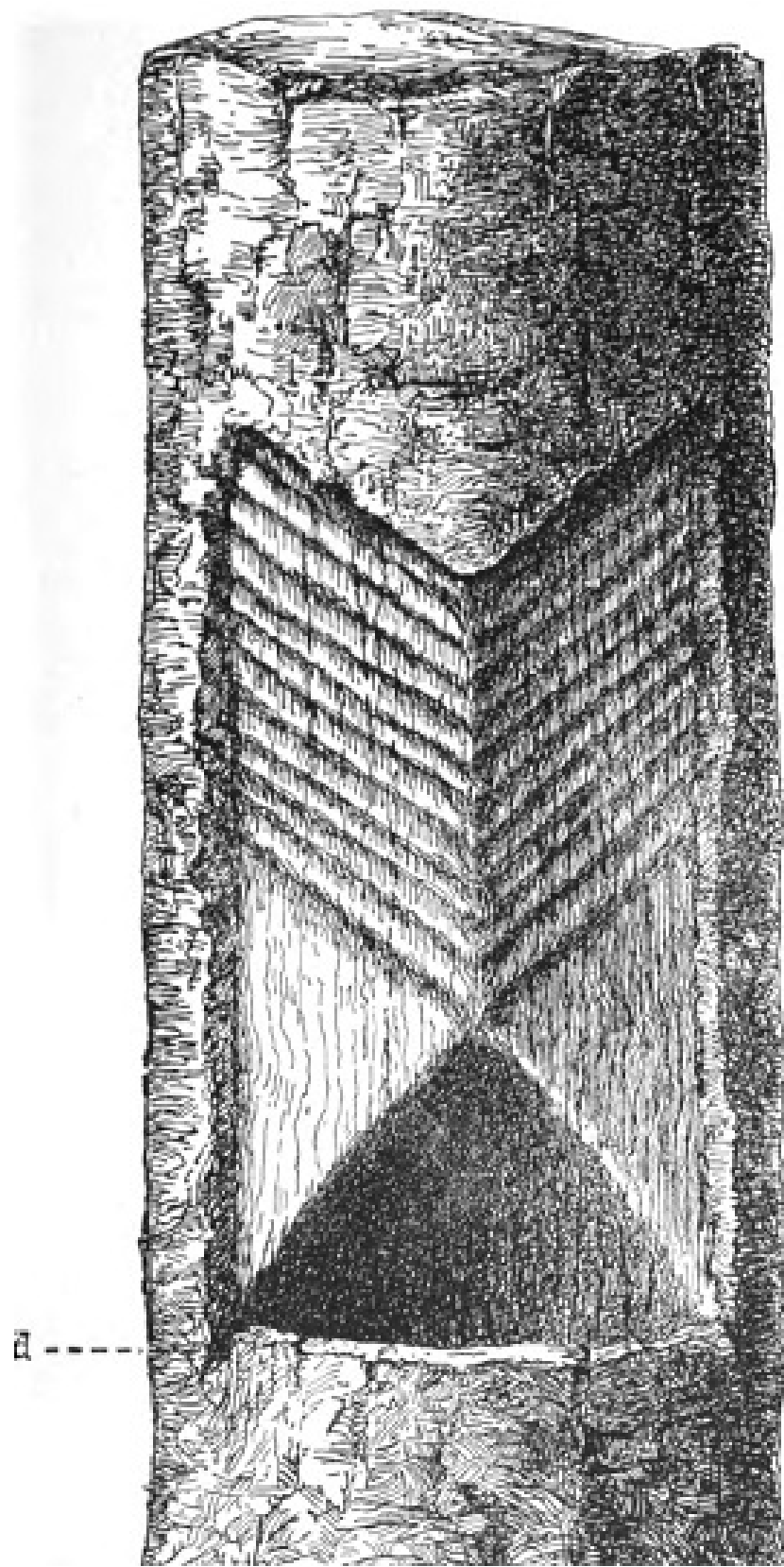
làm đội giá chi phí, và dầu cá voi cũng trở nên đắt đỏ hơn so với các lựa chọn thay thế, hầu hết chúng ít được biết đến ngày nay nhưng được phát triển để thay thế các nguyên liệu cũ. Vậy những lựa chọn thay thế này là gì? Và điều gì đã xảy ra với chúng?

09 CHẤT ĐỐT LỎNG

Những người định cư ở biên giới Minnesota vào những năm 1850 có thể đồ đầy đèn với camphene⁽²⁰⁾ hoặc chất đốt lỏng từ cửa hàng bách hóa địa phương. Cửa hàng này cũng bán dầu cá voi, nó ít bay hơi nên phù hợp cho đèn lồng mang ngoài trời được thiết kế với mặt trước bằng kính, mặt sau và mặt bên bằng thiếc, được đục lỗ hình ngôi sao và hình thoi. Một người viết hồi ký nhớ lại những người định cư đời đầu bắt đầu xem xét thứ gì có thể là “nhiên liệu cung cấp dầu [đèn] khả dĩ khi không còn cá voi để khai thác nữa.”^[1] Ai cũng biết cá voi đang bị săn bắt quá đà trong cái gọi là thời hoàng kim đánh bắt cá voi, số lượng của chúng đang sụt giảm mạnh.

Số tàu săn cá voi của Mỹ đã đạt đỉnh điểm vào năm 1846, với 736 tàu có tổng tải trọng hơn 233.000 tấn.^[2] Dầu cá voi đang cạn kiệt, bản chất của nó là tài nguyên hạn hẹp: camphene và chất đốt lỏng được sản xuất gấp nhiều lần lượng dầu cá voi để chiếu sáng ở Mỹ trong nửa đầu thế kỷ 19. Thầu dầu, cải dầu và dầu đậu phộng, mỡ động vật và mỡ lợn được sử dụng rộng rãi như gỗ và cồn ethanol. Nhưng camphene ở mức 50 xu một gallon, rẻ hơn dầu cá voi ở mức 1,30-2,50 đô-la một gallon, và rẻ hơn mỡ lợn ở mức 90 xu một gallon.

Chất đốt lỏng ở đây bao gồm naphta và benzen, đều được chưng cất từ than. Camphene thì được chưng cất từ nhựa thông. Chất đốt lỏng phổ biến nhất là hỗn hợp ethanol nồng độ cao pha với 20% đến 50% camphene để tạo màu cho ngọn lửa và khử mùi bằng vài giọt dầu long não.^[3]



Thông lá dài được khoét để thu thập nhựa thông thô.
Mặt cắt dọc ở bên phải cho thấy phần hốc đựng để lấy nhựa thông.

Cây thông lấy nhựa chính ở Mỹ là thông lá dài, *Pinus palustris*, phát triển rất phong phú ở Nam Mỹ, bao gồm 400.000 mẫu Anh (1.600 km²) rừng thông cát phía đông bắc Carolina.^[4] Công nhân thu thập nhựa thông thô, nhựa resin lỏng của thông lá dài, bằng phương pháp “khoét hộp”: khía một phần thoát nhựa hình chữ V vào thân cây với hốc sâu bên dưới để lấy nhựa, sau đó móc ra và đóng thùng.^[5] Quá trình này giống như thu nhựa cây phong, mặc dù gây hại nhiều hơn cho cây. Bản thân nhựa resin cũng khác với nhựa sống: thay vì chứa dinh dưỡng, nhựa resin tiết ra như một miếng băng tự nhiên khi cây bị thương, như một dạng đóng vảy cho cây.

Đối với những người định cư đầu tiên, những khu rừng thông lá dài nguyên thủy ở miền Đông Nam nước Mỹ dường như là một nguồn tài nguyên vô tận. Cây trưởng thành có chiều cao từ 30 mét trở lên và đường kính hơn nửa mét, hai phần ba chiều cao của cây không có cành. Tán cây kết hợp phủ bóng lên thảm thực vật nền rừng, với một tấm thảm kim thông vàng rực dày 30 cm. “Một chú sóc có thể đi trên những ngọn thông dài từ Virginia đến Virginia mà không bao giờ chạm đất,”^[6] người ta đồn như vậy.

Trước Cách mạng Mỹ, các nhà sản xuất đã đóng thùng nhựa thông thô và vận chuyển nó đến Anh để chưng cất. Sau Cách mạng Mỹ, các nhà máy chưng cất ở Philadelphia và New York đã chế biến nhựa thông thành camphene. Xưởng chưng cất được chuyển tới gần rừng thông hơn với sự xuất hiện của đường sắt vào thập niên 1830. Thời điểm đó, nhựa thông chưng cất dùng để chiếu sáng đã thay thế nhựa chưng và hắc ín để trở thành sản phẩm chủ chốt của miền rừng phía nam. Giá trị của ngành sản xuất nhựa thông ở Mỹ đạt gần 7,5 triệu đô-la vào năm 1860 (210 triệu đô-la ngày nay), trong đó North Carolina chiếm hơn 5 triệu đô-la.^[7]

Kỹ thuật khoét hộp phải được lặp đi lặp lại từ năm này sang năm khác, dần dần làm hư hại cây. Phần hư hại ở cao đến 4 mét so với mặt đất. Kỹ thuật khoét hộp kép cắt đi hai mặt của cây, để lại một phần dác gỗ hạn chế để nuôi tán cây. Một kỹ thuật khai thác nữa là “bào vỏ” - rạch vào cây sau mỗi hai hoặc ba ngày để nhựa thông chảy trở lại sau khi phần khoét hộp đã được bịt kín với nhựa resin - càng tàn phá nguồn tài nguyên cây xanh nhanh hơn.

Nhựa thông mùa đầu tiên được gọi là “giọt trinh nữ” và bán được lợi nhuận lớn nhất. Nhựa đợt thứ hai và sau một năm ít có giá trị hơn được gọi là giọt vàng. Một cây có thể sống sót qua bảy mùa bất chấp sự hư hại gia tăng từ việc khoét hộp và bào vỏ. Tiểu phu sau đó thu hoạch cây chết và bị hư hại để lấy phần lõi rắn.^[8]

Đến những năm 1850, sản lượng nhựa thông đã giảm ở Mỹ. Một đối thủ cạnh tranh mới đã lấn chân vào thị trường dầu đèn: dầu than chưng cất từ than nến (dầu đá phiến) hay nhựa đường/bitum, một dạng hydrocarbon nặng được tìm thấy tự nhiên trong các hồ nước bán rắn như hồ Pitch trên đảo Trinidad và hệ thống hồ hắc ín La Brea ở Los Angeles. (Hắc ín và nhựa chưng là các thuật ngữ truyền thống cho nhựa đường/bitum, nhưng cũng được sử dụng, một cách rắc rối, để chỉ các chất dịch của cây.) Nguồn dự trữ bitum lớn nhất thế giới nằm ở tỉnh Alberta, Canada, nơi khoáng sản dạng cát dầu - cát trộn với nhựa đường/bitum - chiếm hơn 140.000 km², diện tích lớn hơn tổng diện tích nước Anh.

Một bác sĩ kiêm doanh nhân người Canada tên là Abraham Gesner là người tiên phong thúc đẩy sự phát triển của dầu than, ban đầu dùng làm nguồn khí đốt để thắp sáng. Lớn lên trong một gia đình 12 anh chị em, Gesner sinh ra ở Nova Scotia vào năm 1797. Ngày nay không còn tài liệu về cuộc sống thuở ấu thơ của ông nhưng ở tuổi mười chín vào năm 1816, ông đã thể hiện khả năng tháo vát bằng cách cố gắng bán một đàn những con ngựa đói. Gia súc đang chết đói trong năm không có mùa hè” vì tro bụi núi lửa từ Indonesia, núi Tambora, đã lan khắp thế giới và chặn ánh sáng mặt trời để gây ra đóng băng cứng vào tháng 7 ở vùng vĩ độ phía bắc của Bắc Mỹ và châu Âu. Vụ mùa mất trắng; 200.000 người chết đói ở châu Âu chỉ riêng năm đó. Trả tiền vé tàu bằng cách làm phụ việc trên tàu, Gesner chuyển những con ngựa của mình đến vùng quần đảo Tây Ấn, bán chúng ở đó và dùng khoản lợi nhuận nhỏ này để đi quanh các hòn đảo, thu thập đá, vỏ sò và khoáng sản. Ông đã xem xét các dòng suối hắc ín trên đảo Barbados và hồ Pitch ở Trinidad. Christopher Columbus đã cập bến ở Trinidad năm 1498, sau đó Tây Ban Nha đã sử dụng nhựa chưng Trinidad để trám lên tàu của họ. Gesner chở về một khối lượng lớn bitum từ hồ. Ông đã thử làm thương lái ngựa hai lần nữa nhưng đều không thành: cả hai chuyến đi đều bị đắm tàu.^[9]

Sau những chuyến mạo hiểm này, chàng thanh niên Canada táo bạo đã có được sự sắc sảo hoặc may mắn trời cho để kết hôn với một cô con gái nhà bác sĩ. Cha vợ của ông có lẽ đã hỗ trợ cho khóa học ba năm về y học và phẫu thuật của Gesner ở London. Ông trở lại Nova Scotia vào năm 1827 với tấm bằng y khoa và hành nghề bác sĩ ở nông thôn.^[10]

Y học thời đó là một trong số ít con đường để học và nghiên cứu khoa học. Mỗi quan tâm thực sự của Gesner là địa chất. Đến năm 1836, ông đã nghiên cứu nó đủ kỹ để viết một cuốn sách của riêng mình, *Remarks on the Geology and Mineralogy of Nova Scotia* (Nhận xét về Địa chất và khoáng vật học của Nova Scotia), bao gồm việc thảo luận về các mỏ than địa phương và tài nguyên sắt tiềm năng. Hai năm sau, ông được bổ nhiệm làm nhà địa chất học của tỉnh New Brunswick, phía đông bắc Maine, và đã tiến hành một cuộc khảo sát địa chất trong năm năm quanh khu vực này để tìm kiếm các mỏ có giá trị thương mại.



Hồ Pitch, Trinidad

Sau đó, Gesner tập trung phát triển nhiên liệu chiếu sáng. Ông đã dùng nhựa chưng thu thập ở Trinidad làm nguyên liệu, tiến hành khoảng 2.000 thí nghiệm riêng lẻ. Đến năm 1846, ông đã chưng cất thành công dầu than, tên gọi phổ thông bấy giờ, từ thứ bitum này.^[11] Ông đã đề cập về nó trong các bài thuyết giảng công khai năm đó trên đảo Prince Edward và sau đó là

ở Halifax, Nova Scotia.^[12] Những câu chuyện trên báo về các bài thuyết giảng của ông đã thu hút sự chú ý của không ai khác ngoài Bá tước Dundonald thứ mười, Thomas Cochrane, đô đốc hạm đội Bắc Mỹ và quần đảo Tây Ấn của Anh, đóng tại Halifax. Vị bá tước tình cờ đang đàm phán về quyền khoáng sản đối với hồ Pitch ở Trinidad. Ông nhanh chóng mời Gesner làm cố vấn, và đến năm 1851 đã giành toàn quyền kiểm soát ngu ồn nhựa chưng bằng cách mua lại tất cả các vùng đất xung quanh.^[13] Mỗi quan hệ đó được chính thức hóa khi Gesner chuyển đến Halifax vào năm 1849.

Chỉ trong vài tháng, vị bác sĩ người Canada đã phát triển một phương pháp chuyên biệt để tạo ra khí phát sáng từ bitum với dầu than làm chất trung gian. Khi ông nộp đơn xin cấp bằng sáng chế ở Nova Scotia cho phương pháp của mình vào tháng 6 năm 1849, ông đã sử dụng bằng sáng chế này để giữ tên thương hiệu sản phẩm, gọi chúng là dầu hỏa và khí dầu hỏa (*keros* trong tiếng Hy Lạp là “sáp,” và *-ene* để liên tưởng sản phẩm mới với camphene quen thuộc).^[14]

Một mớ bòng bong của các vụ kiện trong bốn năm tới đã ngăn Gesner sử dụng quyền khai thác bitum ở Nova Scotia và New Brunswick mà ông tin là mình được phép nắm giữ. Ông mất một người bảo trợ và một đối tác vào năm 1851 khi Dundonald, bảy mươi sáu tuổi, không còn phục vụ trong hải quân ở Bắc Mỹ và trở về Anh, dành phần còn lại của cuộc đời mình - ông qua đời vào năm 1860 - thúc đẩy việc khai thác ở Trinidad. Năm 1853, Gesner đưa vợ và năm đứa con trai đến New York. Ông đã nộp đơn xin cấp bằng sáng chế Mỹ cho các sản phẩm dầu hỏa của mình. Chẳng mấy chốc ông sẽ sớm tìm thấy một thị trường mới đầy hứa hẹn cho khí đốt ở Long Island.

Năm đó, cùng các đối tác Mỹ, Gesner đã thành lập một liên doanh mới, Công ty Dầu hỏa và Dầu khí Bắc Mỹ, với một nhà máy ở Brooklyn dọc Newtown Creek. Nhưng việc thiếu đường ống khí liên đô thị đã giới hạn khả năng bán hàng. Điều này khiến Gesner và công ty của ông tập trung vào sản xuất nhiên liệu đèn cho thị trường Bờ Đông mở rộng. Công ty Dầu hỏa, theo tên gọi đại chúng, thông báo rằng sẽ sản xuất “Naphtha khoáng, bê tông cứng trong nước, nguyên liệu cháy lỏng, hắc ín và nhựa chưng khoáng và mỡ bôi trơn đường sắt” từ “Đá Asphalte [tức bitum]... có khối lượng gần như vô tận ở tỉnh New Brunswick.”^[15] Công ty nhấn mạnh rằng

dầu hỏa là nguyên liệu lý tưởng cho việc sản xuất chất đốt lỏng rẻ hơn so với các sản phẩm hiện hành. Gesner được cấp bằng sáng chế Mỹ vào tháng 6 năm 1854. Đối với nguyên liệu đầu vào, công ty của ông ban đầu sẽ sử dụng than nến từ New Brunswick.

Trong khi đó, Gesner bận rộn hoàn thiện dầu hỏa. Dầu than thô từ cơ sở chưng cất của ông bốc khói nhiều khi bốc cháy và bốc mùi nặng hơn. Sau khi xử lý dầu với acid và vôi, ông đã thành công tạo ra một loại dầu hỏa có thể cháy “với một ánh sáng trắng rực rỡ [và] không có khói hoặc mùi naphtha gây khó chịu trong nhiều hợp chất hydrocarbon tương đồng nhưng sở hữu những đặc tính rất khác nhau.”^[16] Các nhà hóa học độc lập, theo một tài liệu của công ty, đã chứng thực rằng dầu hỏa cháy “sáng gấp 13 lần so với Sylvie,⁽²¹⁾ mỡ lợn và dầu cá voi; sáng gấp 6 lần dầu cá nhà táng; gấp 2,5 lần Camphene hoặc dầu hạt cải; gấp 26 lần ‘chất đốt lỏng’; và sáng gấp 4 lần đỉnh cao công nghệ thời đó - đèn khí.”^[17] Thậm chí còn ấn tượng hơn, nó rẻ ở mức một đô-la một gallon. Khi đi đầu chĩnh cho sáng chói hơn, nó sẽ rẻ hơn bảy lần so với chất đốt lỏng, sáu lần so với dầu cá voi, bốn lần so với mỡ động vật, và rẻ chỉ bằng một nửa so với đèn khí. “[Nó] phải sớm được sử dụng trong mọi ngôi nhà trên cả nước,” theo kết luận của tờ rơi quảng cáo.^[18]

Dầu hỏa quả thực gặt hái được đến mức như vậy. Sau khi chiến đấu để đi vào thị trường, bất chấp sự ưa thích dành cho nhựa thông và cồn, công ty Gesner vào năm 1859 đã sản xuất 5.000 gallon dầu hỏa mỗi ngày, 300 ngày một năm, với tổng số hơn 1,5 triệu gallon mỗi năm.^[19] Dầu hỏa giờ được chưng cất từ than Boghead, một loại than nến được nhập khẩu từ mỏ vùng Bathgate ở Scotland, gần 30 km về phía tây Edinburgh. Trớ trêu thay, quy trình sản xuất dầu hỏa đã loại bỏ phần khí phụ mà nó sinh ra, vì chưa có hệ thống đường ống để phân phối.^[20]

Những kẻ bắt chước ăn theo mọc lên ở mọi nơi. Đến năm 1860, có từ 60 đến 75 nhà máy dầu than hoạt động trên dưới Bờ Đông, từ Maine đến Philadelphia và dọc theo hệ thống sông Ohio từ Pittsburgh đến phía tây Kentucky, so với khoảng 200 nhà máy sản xuất khí than ở các thành phố trên toàn nước Mỹ, một ngành công nghiệp 40 năm trưởng thành.^[21] Sản lượng dầu than đầu năm 1860 đạt khoảng 20.000 đến 30.000 gallon mỗi ngày, tương đương khoảng 7 triệu đến 9 triệu gallon mỗi năm.^[22] So sánh

lại thì sản lượng dầu cá voi đạt đỉnh vào năm 1854 với khoảng 10,3 triệu gallon và bắt đầu giảm mạnh.^[23]

Một trong những nhân chứng có chuyên môn chống lại Abraham Gesner trong phiên tòa về quyền khai thác bitum ở Canada của ông là Benjamin Silliman Jr., tốt nghiệp Đại học Yale khóa 1837 và sau đó trở thành giảng viên hóa học của trường. Cha Silliman, một nhà hóa học tiên phong sinh ra trong Cách mạng Mỹ, là nhà sáng lập chủ chốt của giáo dục khoa học cho sinh viên tốt nghiệp ở Mỹ. Trong khi dạy ở Yale và các nơi khác, cả hai cha con họ đã bổ sung thu nhập bằng cách làm nhân chứng có chuyên môn và làm người định giá mỏ. Năm 1847, Silliman Jr. đã cùng các nhà đầu tư khác thành lập Công ty Khí đốt New Haven - ngôi nhà của ông là nơi đầu tiên trong thành phố được lắp đặt đèn khí và thắp sáng - và ông tiếp tục làm giám đốc. New Haven, Connecticut vào thời điểm đó là thành phố nhỏ nhất ở Mỹ muốn nâng cấp lên khí than, với 6 km ống dẫn kết nối nhà máy sản xuất khí với trung tâm thị trấn. Silliman cũng giữ chức vụ trong hội đồng thành phố.

Với những dấu mốc danh giá này, nhà hóa học Yale là một lựa chọn rõ ràng để đánh giá một nguồn nguyên liệu mới tiềm năng để sản xuất dầu hỏa khi hai nhân viên kinh doanh tiếp cận ông với dự án đó vào mùa thu năm 1854. Ai cũng biết rằng dầu mỏ - dầu đá, như tên thường gọi, dịch từ thành tố gốc Latin - có thể được tinh chế thành dầu hỏa bằng cách sử dụng quá trình xử lý tương tự như Gesner và những người khác sử dụng cho bitum rắn. Hai vị doanh nhân này cho rằng một nguồn dầu mỏ trong nước sẽ cho phép họ sản xuất dầu hỏa cho thị trường lớn và ngày càng mở rộng cho nhiên liệu thắp sáng này với chi phí thấp hơn so với khai thác mỏ. Họ đã sở hữu được một trang trại ở phía tây Pennsylvania, 160 km về phía bắc Pittsburgh trong Hạt Venango, gần thị trấn Titusville. Ở đây có một thứ dầu màu nâu, hơi xanh được đặt tên cho một dòng suối gọi là Sông Dầu.

Thứ dầu rò rỉ lộ thiên đã được phát hiện từ thời các nhà thám hiểm Tây Ban Nha và Pháp. Vào những năm 1760, David Leisberger, một nhà truyền giáo người Moravia đến thăm người da đỏ Seneca, đã mô tả ông nhìn thấy vài suối dầu như vậy trong khu vực này. Leisberger nhận thấy tộc người Seneca đã lọc sạch dầu bằng cách đun sôi rồi “dùng [nó] như một loại thuốc mỡ cho đau răng, nhức đầu, sưng tấy, thấp khớp, và bong gân. Đôi khi nó cũng được dùng làm thuốc uống trong. Nó có màu nâu, và cũng có

thể được sử dụng làm nguyên liệu đèn. Nó cháy rất tốt.”^[24] Sự rò rỉ ổn định ở Sông Dầu chứng tỏ bên dưới hẳn phải có một bể chứa ngấn đáng kể. Để tìm bể chứa đó và khai thác sẽ đòi hỏi một sự đầu tư quy mô. Hai vị doanh nhân này hi vọng Silliman sẽ chứng nhận giá trị của dầu mỏ với các nhà đầu tư tiềm năng.

Họ đã thuê đúng người. Silliman nhận thức rõ về dòng chảy của Sông Dầu. Cha của ông đã đề cập đến chúng trong một báo cáo về một vụ rò rỉ tương tự ở quốc gia Seneca gần Cuba, New York, được công bố trên *American Journal of Science and Art* vào năm 1833. Silliman Sr. lưu ý rằng “lượng lớn xăng dầu được sử dụng trong các bang miền Đông, dưới cái tên dầu Seneca” không phải đến từ Cuba mà là từ một nguồn “khoảng 100 dặm từ Pittsburgh, trên Sông Dầu... trong thị trấn và quận Venango... Bằng các con đập, bao quanh một phần sông hoặc lạch, nó bị ngăn không cho chảy ra, và bị hấp thụ bởi các lớp phủ rồi bị vắt khô.”^[25]

Vì vậy, Silliman Jr., người đã làm việc nhiều năm với tư cách là trợ lý phòng thí nghiệm của cha mình và người thuyết trình, sẽ quen thuộc với dầu hỏa từ Sông Dầu, Pennsylvania, thứ mà hai doanh nhân đã mang đến cho anh. Ông gần như chắc chắn đã chứng cất nó cho cha mình. Silliman Sr. thì quan tâm nhiều hơn đến khả năng hai suối dầu ở phía tây nam bang New York và phía tây bắc Pennsylvania, cũng có thể có vỉa than. Nếu vậy, ông đã khuyến nghị theo phỏng đoán cá nhân trong báo cáo năm 1833, rằng “sẽ không khôn ngoan khi chưa có cơ sở để khai thác; vì sẽ là rất đắt tiền và có thể không có kết quả. Sẽ là khôn ngoan hơn nhiều nếu ta chọn cách khoan thăm dò,” ông nhấn mạnh. Ý ông là khai thác than chứ không phải dầu; ý tưởng đó vẫn là quá mới mẻ. Giống nhiều nhà khoáng vật học trong thời đại của ông, Silliman Sr. tin rằng hai loại hydrocarbon này có liên quan đến nhau và một sản lượng dầu mỏ dãi dào trên bề mặt “có thể đi đôi với sự tồn tại của than bên dưới.”^[26]

Hai vị doanh nhân đã tham khảo ý kiến với Silliman Jr. là George H. Bissell và Jonathan G. Eveleth, đối tác trong hãng luật Phố Wall của Eveleth & Bissell. Eveleth tốt nghiệp Trường Luật Harvard năm 1854, nhưng Bissell đã trải qua nhiều ngành nghề trong quá khứ. Một thân một mình từ khi mười hai tuổi, ông đã dạy học, tự trang trải cho việc học ở Đại học Dartmouth, viết cho các tờ báo, và từng là phụ tá của các trường học

thành phố New Orleans trước khi quay trở lại quê hương New England trong tình trạng ốm yếu vào năm 1853 và bắt đầu thử sức đầu tư.^[27]

Bissell và Eveleth theo đuổi một loạt các sự kiện tình cờ đến mức tưởng như được ma quỷ dẫn lối chỉ đường. Năm 1849, Ebenezer Brewer, chủ xưởng cưa ở Titusville, đã gửi cho con trai của mình, Francis Brewer, một bác sĩ trẻ đang hành nghề ở Vermont, năm gallon dầu Seneca từ con lạch chảy bên dưới xưởng cưa của mình, “cùng lời đảm bảo rằng nó là dược liệu và thuốc chữa bệnh tuyệt vời,”^[28] người con trai kể lại sau đó. Brewer trẻ tuổi đã sử dụng thứ dầu đó để đi đầu trị cho bệnh nhân và không quên chia sẻ một ít với Dixi Crosby, một cựu giáo sư của anh, giảng viên dạy phẫu thuật tại trường y Đại học Dartmouth. Brewer cũng chia sẻ một ít với một giáo sư hóa học ở Dartmouth, O. P. Hubbard, người nghĩ rằng thứ dầu này sẽ không bao giờ phổ biến được.^[29] Chán nản, chàng bác sĩ trẻ không theo đuổi định hướng đó cho đến năm 1853.

Đến lúc đó, Brewer đã từ bỏ nghề y để tham gia cùng cha và các đối tác để đi đầu hành xưởng cưa Titusville và bán gỗ xẻ. Định cư ở Pennsylvania, Brewer nhớ lại, “đây là lần đầu tiên [tôi] xét nghiệm dầu suối, trong phạm vi lân cận của một trong những xưởng cưa của chúng tôi.” Những gì ông khám phá ra hoàn toàn trái ngược với bác bỏ vôi vàng của Hubbard về triển vọng của nó: “Tôi hài lòng trước lượng dầu dư dả này.” Ông lập tức thảo luận với các đối tác về cách khai thác dầu. Họ quyết định cố gắng tăng lưu lượng dầu và thuê một người bản địa, Jacob D. Angier, để thực hiện công việc. Vào ngày 4 tháng 7 năm 1853, các chủ xưởng cưa đã ký hợp đồng thuê với Angier, hợp đồng khai thác dầu đầu tiên được ký kết tại Mỹ.

Tuy nhiên, ngay cả với việc đào rãnh và các cải tiến khác, sản lượng dầu chỉ đạt được vài gallon mỗi ngày, không tương xứng với thị trường. “Dầu sử dụng để thắp sáng xưởng cưa và bôi trơn máy móc,” Brewer kể, hầu như không đem lại các giá trị lớn như các chủ xưởng cưa đã hình dung.^[30]

Con trai của Dixi Crosby tên là Albert, một luật sư hai mươi sáu tuổi, là em họ của Francis Brewer.^[31] Khi Dixi Crosby cho học sinh cũ của mình, George Bissell, xem một mẫu dầu từ Sông Dầu và ca ngợi các đặc tính quý giá của nó, Albert Crosby liền đề nghị đi đến Pennsylvania để thay mặt Bissell kiểm tra suối dầu. “Ngay từ đầu,” Brewer nhớ lại, người em họ này

“đã rất hào hứng với ước tính về giá trị và sự dồi dào của dầu.” Albert và Francis khảo sát dọc theo con sông, tham quan những điểm khác nhau nơi dầu tràn xuống nước, “xa đến tận trang trại McClintock. Có một cái giếng ở giữa con sông. Crosby trở nên phấn khích và đề nghị mua toàn bộ khu vực có dầu đã phát hiện được đến giờ.” Brewer nhớ lại:

Khi chúng tôi đứng trên vòng tròn của những khúc gỗ thô ráp quanh suối và thấy dầu sủi bọt lên, lan tỏa màu vàng tươi sáng trên bề mặt nước, như một giấc mơ vàng vậy, Crosby ngay lập tức đề nghị mua toàn bộ trang trại, và chúng tôi có thể mua được với giá 7.000 đô-la, nhưng vì khả năng tài chính của chúng tôi bị giới hạn ở một con số nhỏ hơn nhiều, tôi buộc phải từ chối cơ hội béo bở này... Khi tôi nói với cậu em rằng không nên lấy vốn từ mảng kinh doanh gỗ để đầu tư vào dầu, Crosby cúi kính vặc lại rằng: “Quý tha ma bắt gỗ đi, em thà có nông trại McClintock hơn là có tất cả gỗ ở phía tây Pennsylvania.”^[32]

7.000 đô-la vào năm 1854 bằng khoảng 198.000 đô-la ngày nay. Đó là một khoản đầu tư lớn trong khi chưa ai xác định được có thể thu hồi được bao nhiêu dầu hoặc giá trị thực của nó có thể là gì. Thay vì mua trang trại John McClintock, Crosby đề xuất với người nông dân một lựa chọn chia trang trại của anh ta thành ba phần trong 30 ngày: đất ở một bên của Sông Dầu với giá 1.000 đô-la, đất ở phía bên kia giá 5.000 đô-la, và suối dầu với giá 2.000 đô-la hoặc toàn bộ trang trại với giá 7.000 đô-la. Rõ ràng không tin vào lời hứa hẹn về nguồn dầu mỏ nằm dưới bất động sản của mình, McClintock đồng ý.

Quay trở lại Titusville, Albert Crosby đàm phán một thỏa thuận với Brewer và các đối tác xưởng cưa của ông, những người sở hữu trang trại có suối dầu. (Bissell đã ủy quyền cho Crosby quyền tự quyết.) Luật sư trẻ này đề nghị tổ chức một công ty cổ phần vốn hóa ở mức 250.000 đô-la (7 triệu đô-la ngày nay), chia cho các bên các cổ phần sẽ được bán cho nhà đầu tư. Với số vốn đó, công ty lấy tên Công ty Dầu mỏ Pennsylvania sẽ mua hoàn toàn trang trại Hibbard rộng hàng trăm mẫu với giá 5.000 đô-la. Việc chào bán công khai của công ty sẽ bao gồm các quyền khai thác hàng nghìn mẫu đất dầu mà các đối tác xưởng cưa sở hữu trong khu vực.

Một thời kỳ hỗn loạn đã xảy ra khi các bên khác nhau cố gắng xem xét các điều khoản của thỏa thuận, nhưng vào mùa thu năm 1854, Bissell và Eveleth đã có công ty dầu mỏ Pennsylvania ở New York và đang chuẩn bị rao bán cổ phiếu. Họ cũng đã cố gắng thu lại chi phí bằng cách bán một số quyền sở hữu dầu của Sông Dầu mới mua cho một nhóm người mua tiền năng mới ở New Haven, Connecticut. Việc tại sao họ chọn New Haven vẫn chưa rõ, nhưng lựa chọn đó đã chứng minh giá trị của nó khi nhóm New Haven yêu cầu Bissell và Eveleth ủy thác cho Benjamin Silliman Jr. phân tích dầu mỏ ở Sông Dầu và báo cáo về giá trị của nó.^[33]

Họ đã làm như vậy vào tháng 10 năm 1854. Trong vòng một tháng, họ đã có phản hồi sơ bộ từ Silliman: dầu mỏ có khả năng làm dung môi sơn “thay vì làm thuốc, chất đốt hoặc bôi trơn.” Kết luận này vẫn còn vội vàng và tạo nên bầu không khí chán nản, nhưng hai vị doanh nhân đánh giá rằng chi phí phân tích hóa học sắp tới của Silliman sẽ vẫn là khoản đầu tư có lợi.^[34]

Thời đó Đại học Yale vẫn chưa phải là một đại học nhận được những khoản tài trợ hào phóng như ngày nay. Khi Silliman được bổ nhiệm làm giảng viên hóa học của Trường Hóa học Ứng dụng mới thành lập vào năm 1847, Ban điều hành Yale không có điều khoản thanh toán cho ông hoặc bất cứ ai khác trong đội ngũ cán bộ cơ hữu của khoa. Silliman liền cho thuê ngôi nhà trong khuôn viên rộng lớn được giao cho hiệu trưởng Yale, người thích sống ở nơi khác, chuyển đổi nó thành phòng thí nghiệm và thu phí từ sinh viên.^[35] Năm 1849, Đại học Louisville sẵn đón ông bằng đề nghị chế độ lương để dạy trong trường y của họ. Khi Silliman trở lại Yale vào năm 1854 vào lúc cha ông nghỉ hưu để nhận chức giáo sư hóa học, ông đã phàn nàn với một người bạn rằng ông đã “hi sinh rất nhiều về mặt tiền bạc” khi rời Louisville.^[36] Yale sẽ trả cho ông 1.000 đô-la trong năm đầu tiên làm giảng viên hóa học (28.000 đô-la ngày nay) cộng với 300 đô-la (8.500 đô-la) cho chi phí phòng thí nghiệm.^[37] Ông không có ý tư vấn không công nào khác về dầu mỏ của Pennsylvania. Ông đang có một phòng thí nghiệm đại học cần đầu tư trang thiết bị nữa.

Sau báo cáo sơ bộ của mình cho Bissell và Eveleth, Silliman tiếp tục phân tích mẫu dầu mỏ Sông Dầu để chứng minh tiền năng thương mại to lớn của nó. Đến cuối tháng 12, ông có thể báo cáo cho đối tác một cách lạc quan hơn: “Tôi rất quan tâm đến nghiên cứu này, và nghĩ rằng tôi có thể

hứa với các ông rằng kết quả sẽ đáp ứng mong đợi của các ông về giá trị của nguyên vật liệu này phục vụ cho nhiều mục đích hữu ích.”^[38] Hai ông chủ đã rất vui khi nghe đi đầu đó.

Nghi ngờ rằng dầu thô bao gồm một số hợp chất lỏng khác nhau với các điểm sôi khác nhau, Silliman bắt đầu tách nó thành các thành phần khác nhau bằng phương pháp chưng cất phân đoạn. Quá trình này bao gồm việc đun một bình chưng cất đầy dầu trong một bể nước lỏng cho đến khi nước sôi, và cho nhiệt độ cao hơn, dùng dầu hạt lanh và từ từ tăng nhiệt độ cho đến khi sự chưng cất bắt đầu diễn ra, sau đó giữ nhiệt độ ở đó cho thành phần hợp chất này sôi lên và được chưng cất hoàn toàn. Sau đó, tăng nhiệt độ theo từng bước 10 độ một. Mỗi thành phần sẽ sôi ở một nhiệt độ nhất định giống như nước, và sẽ được chưng cất dưới dạng khí, sau đó tăng thêm nhiệt độ sẽ cho phép phần tiếp theo được chưng cất, với điểm sôi cao hơn, cứ thế lặp lại quy trình.^[39]

Silliman đánh giá việc chưng cất phân đoạn này thật “tẻ nhạt,” và quả thực vậy, nó khiến ông mất hơn ba tuần để hoàn thành thí nghiệm. Nhưng ông xác định được bảy thành phần khác nhau trộn lẫn trong dầu thô, có màu sắc, độ nhớt và mùi từ thành phẩm số 2, “hoàn toàn không màu... loãng và trong... [có] mùi cực kỳ dai dẳng,” tới thành phẩm số 8, “màu sắc và sệt như mật ong, mùi... ít gắt hơn so với các loại dầu trước đó. (Thành phẩm số 1, thành phẩm đầu tiên sôi chỉ đơn thuần là nước.) Trong bình chưng còn “một loại vecni màu đen, đặc, trông giống như nhựa, rất cứng khi làm lạnh, có thể quay ngược bình mà không tràn ra.”^[40]

Vị giáo sư Yale đã khám phá ra một đi đầu khác nữa: bước đột phá thực sự mà Bissell và Eveleth đã khấp khởi hi vọng bấy lâu. Một số loại dầu được chưng cất từ mẫu thô dường như có điểm sôi khác nhau. Sự bất thường đó cho thấy chúng là hỗn hợp của các loại dầu khác, ông báo cáo với các nhà tài trợ, “được sinh ra bởi sự thay đổi nhiệt và phản ứng hóa học trong quá trình chưng cất, biến đổi thể dạng mới so với khi còn tồn tại trong chất ban đầu.”^[41] Việc chưng cất các hỗn hợp này lần lượt được gọi là “cracking” - phá vỡ liên kết giữa chúng.

Silliman đã phát hiện ra thứ dầu phù hợp cho thắp sáng. “Đạt được thành công bất ngờ trong việc sử dụng sản phẩm chưng cất của *Dầu Đá* để chiếu sáng,” ông bắt đầu đưa ra đề nghị mời góp vốn vào ngày 1 tháng 3 năm 1855, ông đề xuất thử nghiệm sản phẩm đã được chưng cất “cho các

loại đèn khác nhau và so sánh với *các loại dầu khác nhau*? Ông liệt kê các loại “dầu” khác nhau: “Dầu cá nhà táng và cải dầu.” Để so sánh chúng, ông cần một nguồn cung cấp nền tiêu chuẩn và một máy quang kế đặc chế đặt trên (ông cũng dự định sử dụng nó để thử nghiệm với đèn khí cho Công ty Đèn khí New Haven).^[42] Đã đâm lao thì phải theo lao; Bissell và Eveleth làm gì còn lựa chọn khác?

Vào ngày 16 tháng 4 năm 1855, Silliman cuối cùng đã hoàn thành *Báo cáo về dầu đá, hoặc dầu mỏ, từ Venango Co., Pennsylvania, với đề xuất đặc biệt về việc sử dụng nó cho chiếu sáng và các mục đích khác*. Hai nhà đầu tư đánh giá phân tích này chính là câu trả lời cho mọi hi vọng bấy lâu của họ, ngay cả khi nó khiến họ phải trả giá đắt, như Eveleth phàn nàn, “một khoản tiền khổng lồ.” Bản báo cáo có giá hơn 600 đô-la (khoảng 17.000 đô-la ngày nay). Nhưng nó sẽ “khuấy động tình hình,” Eveleth thêm vào. “Cổ phiếu sau đó sẽ bán được. Mọi thứ có vẻ tốt.”^[43]

Tuy nhiên, bốn năm nữa đã trôi qua trước khi dầu mỏ bắt đầu được khai thác số lượng lớn ở Pennsylvania. Một khi báo cáo của Silliman xác định rằng dầu mỏ có giá trị làm nguyên liệu chiếu sáng, vấn đề vẫn là làm thế nào để khai thác đủ chúng từ Sông Dầu nhằm tạo ra lợi nhuận.

Trong khi đó, công ty đã trải qua nhiều lần tái cơ cấu do các nhà đầu tư ở New Haven tìm cách loại bỏ những người ở New York khỏi thương vụ. Năm 1858, một đối thủ mới, Công ty Dầu Seneca New Haven, Connecticut, đã nuốt chửng Công ty Dầu mỏ Pennsylvania.^[44] Ông chủ ngân hàng James Townsend cùng các nhà đầu tư thân cận ở New Haven đã nắm quyền kiểm soát, đưa vào một cộng sự mới, một người địa phương tên là Edwin L. Drake và bầu ông làm chủ tịch. Không thể xác định có phải chính Drake là người tìm ra cách giải phóng dầu mỏ khỏi đá dưới lòng đất hay không.

Townsend đã kết bạn với Drake ở khách sạn Tontine, New Haven, nơi cả hai cùng sống. Drake đã chuyển đến đó với con trai nhỏ vào năm 1855 sau cái chết của người vợ khi chuyển dạ năm ngoái. Năm 1858, ông ba mươi tám tuổi, cao, mảnh khảnh, râu đen và đầy cuốn hút, một người ngoan đạo hiếm khi chửi thề nhưng có vô số câu chuyện lý thú giúp buổi tối ở khách sạn không dứt tiếng cười. Sinh ra ở Greenville, New York, gần Albany, Drake đã lớn lên trong các trang trại ở New York và Vermont và làm đủ việc liên quan đến thư ký và vận chuyển từ Massachusetts đến

Michigan. Với trình độ chuyên môn là giám sát việc sản xuất dầu, bên cạnh vẻ ngoài đáng kính, đã giúp ông có được một vé đi tàu miễn phí, nhờ công việc là nhân viên soát vé cho tuyến đường sắt New York & New Haven từ khi nó thành lập vào năm 1849 cho đến khi ông nghỉ hưu vì sức yếu vào năm 1857. Ông đã bị mắc bệnh sốt rét, một chứng bệnh đặc hữu thời đó ở khắp vùng hạ Trung Tây đến tận phía đông bắc như Pittsburgh.^[45]

Từ năm 1855 đến năm 1858, bên cạnh việc đàm phán để có được hợp đồng sở hữu đất và dầu dọc theo Sông Dầu, các nhà đầu tư vào thứ trở thành Công ty Dầu Seneca đã gửi nhiều chuyên gia đến Titusville để cố gắng tăng sản lượng. Rãnh dọc theo con sông nơi dầu thấm tích đã được mở rộng cho đến khi nó sâu 6 mét và rộng 1,2 mét. Mặc dù vậy, mạch dầu vẫn hiếm khi được quá 6 gallon một ngày. Năm 1857 là năm khai thác tốt nhất chỉ được tổng cộng không quá 12 thùng lớn chứa khoảng 1.000 lít dầu thô, trong khi việc sản xuất dầu than đang chạm ngưỡng gần 7 triệu gallon mỗi năm.^[46] Khi Townsend bổ nhiệm Drake làm chủ tịch công ty vào đầu năm 1858, Drake trở thành người quản lý cao nhất, với mức lương hằng năm là 1.000 đô-la (29.000 đô-la ngày hôm nay). Ông tái hôn năm 1857. Cuối năm đó, ông tự mình đi đến Titusville để kiểm tra các tài sản của công ty Seneca. Tháng 5 năm 1858, ông đón vợ, con trai và bé sơ sinh năm tháng tuổi để chuẩn bị di dời đến Titusville.^[47]

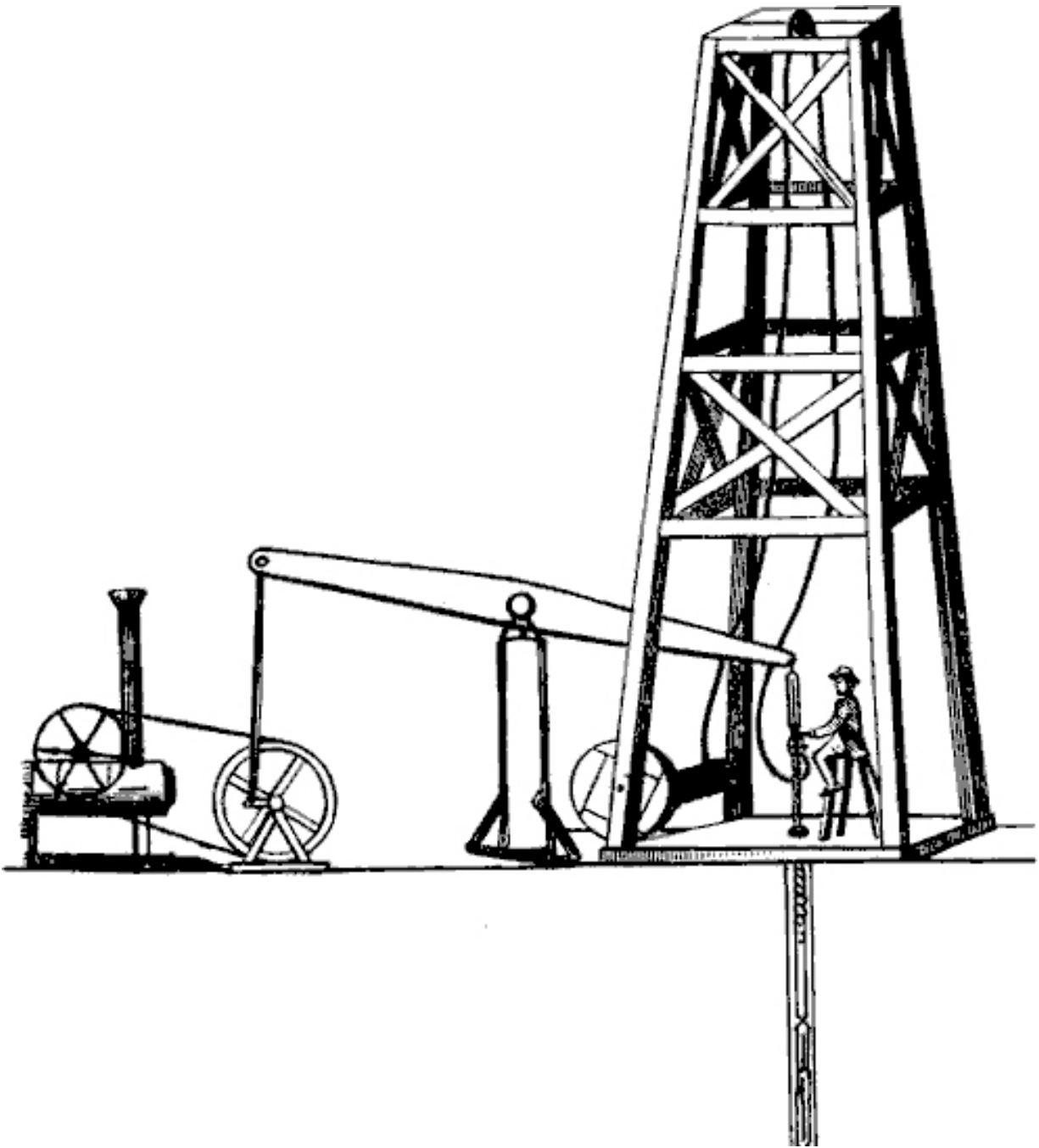
Trên đường đến Titusville vào tháng 12 năm 1857, Drake đã dừng chân ở Syracuse, New York để kiểm tra một số giếng nước mặn ở đó. Chưa có ai thử khoan dầu nhưng khoan nước mặn thì phổ biến, và Drake muốn nghiên cứu xem quy trình đó được thực hiện như thế nào. Các giếng nước mặn thường xuyên bị nhiễm dầu mỏ, đôi khi được thu thập và bán. Các sử gia không thống nhất được rằng ai là người đầu tiên nghĩ đến việc *khoan* dầu. Townsend thì tuyên bố đó là ý tưởng của mình; Drake cũng vậy. Bất kể người đó là ai, Drake đã nghĩ đến việc áp dụng nó trong chuyến hành trình đầu tiên của mình tới Pennsylvania.^[48]

Tổ tiên chúng ta đã sử dụng muối không chỉ đơn thuần làm gia vị cho thức ăn. Trước khi loài người có điện lạnh gia dụng vào những năm 1920, ướp muối là một trong số ít các phương pháp để bảo quản thực phẩm nhất là thịt. Thuế muối đích xác loại thuế chung trong nhiều thế kỷ bởi muối là một mặt hàng quan trọng để bảo quản thực phẩm.

Có hai cách để khoan giếng nước mặn, giống như việc thăm dò than thời kỳ trước: đào giếng bằng sào lò xo, một cách cũ rất cực nhọc; hoặc khoan một lỗ bằng một ống khoan được hỗ trợ bằng tháp khoan và nâng lên hạ xuống bằng một động cơ hơi nước nhỏ.

Khi Drake đến Titusville cùng gia đình vào tháng 5 năm 1858, ông nhận thấy Townsend đã chuẩn bị cho người dân thị trấn bằng cách gọi ông là “Đại tá” Drake trong các thư và tài liệu gửi trước, đoán trước rằng bưu tá sẽ nhanh chóng truyền thông tin này đi. Quả thực Drake được chào đón một cách tuyệt vời nhờ cấp bậc đó trong khi ông chỉ tham gia lực lượng dân quân Michigan hồi còn trẻ; vợ ông thì tuyên bố rằng ông đã được thăng cấp đại tá, và có thể là vậy, ai mà biết được.^[49]

Townsend, với bản chất dân ngân hàng, thì không có một chút hào phóng nào với lương bổng của Drake. Trong năm tiếp theo, người quản lý việc sản xuất dầu của Công ty Dầu Seneca thường xuyên phải đòi tiền lương từ công ty, phải vay tiền tại địa phương dựa trên tên tuổi của mình, và thậm chí một lần phải trở lại New Haven để khiếu nại với ban giám đốc.



Giàn khoan muối (và dầu) chạy bằng hơi nước; v ề cơ bản là một phiên bản mạnh mẽ hơn của sào đàn h ầu.

Drake phải mất hơn một năm để tìm người khoan giếng. Hết lần này đến lần khác các thợ khoan giếng nước mặn từ chối ông hoặc không xuất hiện đúng như đã hẹn.

Tiêu chuẩn của ông rất cao. “Mặc dù tôi đã đến Titusville vào ngày 15 tháng 5, nhưng phải đến tận ngày 20 tháng 7 tôi mới tìm được một người

chấp nhận ký hợp đồng khoan một lỗ đường kính năm inch sâu 1.000 feet và đồng ý chịu phạt hoặc không được trả tiền nếu anh ta có sơ suất hoặc bất cẩn dẫn đến thất bại,” ông nhớ lại. Thế nhưng người đàn ông đó, giống như những người khác, cũng không đến trình diện. Một người ứng tuyển khác qua đời trên đường đến Titusville.^[50] Giới thợ khoan giếng cũng là những con sâu rượu, “như mây âm hồn chết khát mê Whiskey hơn bất kỳ chất lỏng khác trên đời.” Song hầu hết hoặc tất cả bọn họ cũng nghĩ rằng cái người lạ mặt cao lớn có râu đỏ là một gã điên chính cống.^[51] “Chúng tôi biết có dầu ở đó,” một người địa phương giải thích. “Tuy nhiên, với chúng tôi chẳng đáng là bao vì thứ dầu này không có giá trị lắm.”^[52]

Drake dành thời gian cải thiện các rãnh khai thác, xây dựng một nhà chứa động cơ, đặt hàng và lắp đặt động cơ hơi nước, và đi khắp các thị trấn khác nhau tìm kiếm thợ khoan giỏi hoặc mua vật tư. Mùa đông năm 1858-1859 là những tháng ngày khốn khổ. “Trời mưa ít nhất bốn ngày mỗi tuần suốt mùa đông,” Drake nhớ lại.^[53]

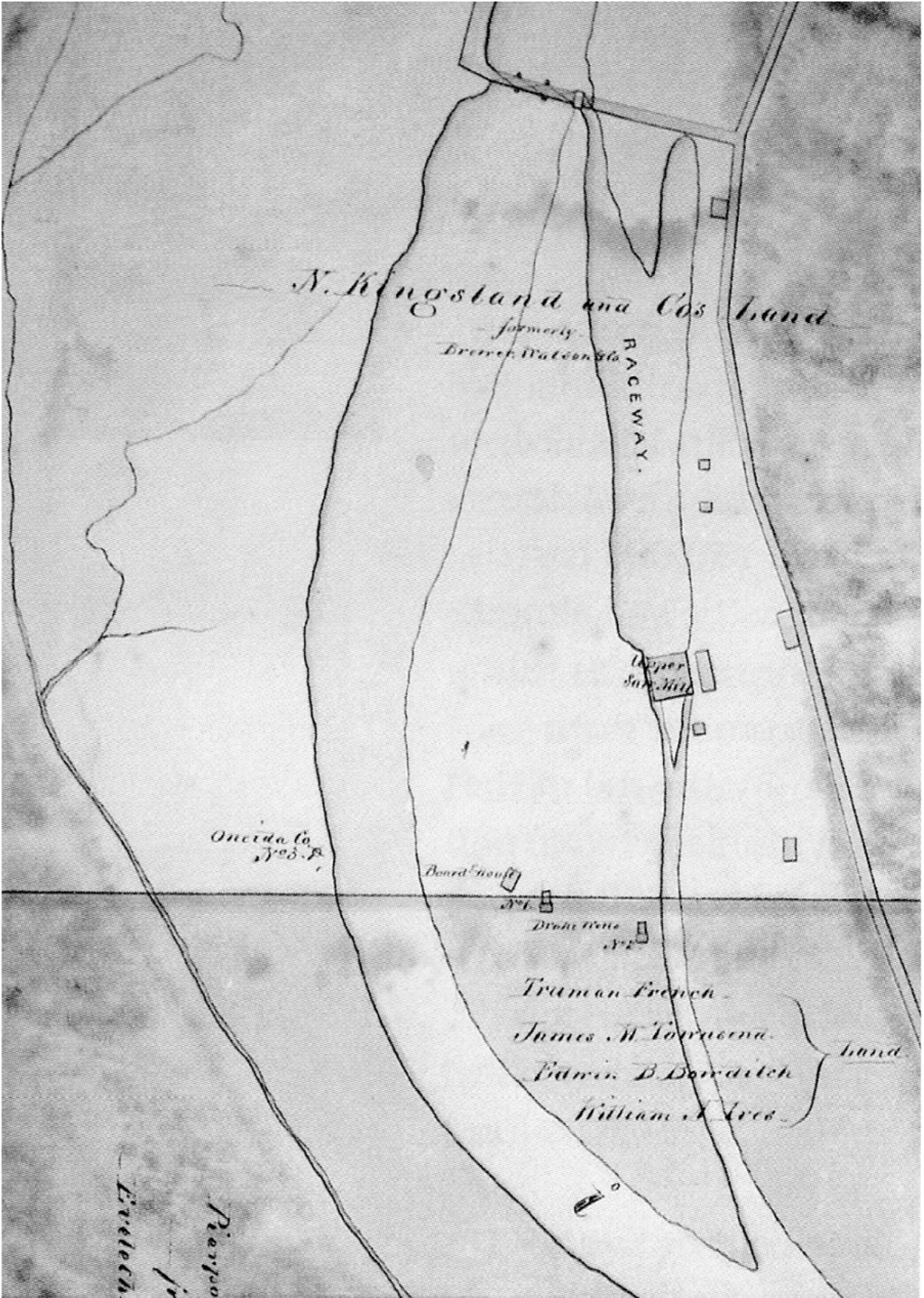
Cuối cùng, vào tháng 4 năm 1859, một người bạn đã viết cho ông từ Tarentum, Pennsylvania, gần 130 km về phía nam Sông Dầu, “rằng ông ấy đã tìm được cho tôi một người, chắc chắn sẽ phù hợp với các yêu cầu của tôi. Anh ta đã làm việc cho ông ấy được vài năm.”^[54] Drake đích thân đến Tarentum để gặp William Andrew Smith, “Bác Billy,” là một người thợ rèn rắn chắc, để râu. Đám thợ khoan ở khu vực này thường xuyên nhờ cậy ông để giải quyết mọi vấn đề họ gặp phải khi khoan giếng. Bác Billy vốn đã lên kế hoạch nghỉ hưu nghề thợ rèn và chuyển sang làm nông. Ông đồng ý khoan giếng cho Drake với giá 2,5 đô-la một ngày (72 đô-la ngày nay, hoặc 9 đô-la một giờ), một mức giá hời, chưa kể việc ba người con trai của Smith và một cô con gái của ông (nấu ăn và dọn dẹp) cuối cùng sẽ tham gia phụ việc cho bố mà không phải trả thêm phí. Drake hi vọng sẽ mua được thiết bị khoan và các dụng cụ khác cho dự án ở Tarentum, Chú Bill đề nghị tự gia công chúng trước khi đóng cửa lò rèn của mình.

Gia đình Smith đến Titusville vào ngày 20 tháng 5 năm 1859 nhưng vắng mặt người vợ thợ rèn. Con gái ông, Margaret, cho biết mẹ cô nghĩ Titusville “có vẻ quá ‘rùng rú’ và bà sợ có điều gì không may có thể xảy ra với chúng tôi.”^[55] Cả gia đình sớm chuyển từ khách sạn địa phương vào nhà chứa động cơ, bên cạnh vị trí giếng. Công việc khoan giếng bắt đầu ngay lập tức với việc xây dựng một nhà chứa động cơ mới và một tháp

khoan gỗ có đáy rộng 1,1 mét vuông và cao khoảng 10 mét, được đóng đỉnh cố định trên mặt đất và sau đó được nhấc vào vị trí giống như lắp mái chuồng bởi một đám đông tình nguyện viên địa phương vào cuối tháng 5 hoặc đầu tháng 6. Nhiều người trong số họ chưa bao giờ nhìn thấy tháp khoan bao giờ. Một tay bông đùa nói với một người nông dân khi được hỏi về nó rằng một gã người New York đang dựng nó như một tượng đài để đánh dấu vị trí của Tháp Babel như trong Kinh Thánh. Người dân địa phương gọi dự án là “Sự điên rồ của Drake.” Cũng trong tháng 6, bà Smith thu hết can đảm và chuyển đến Titusville cùng với sáu đứa con còn lại. Đúng như bà đã lường trước; trong thời gian ở Titusville, nhà Smith mất đi người con gái út Lida vì bệnh bạch hầu, ngay trước sinh nhật thứ 17 của cô.^[56]

Không có cách nào để xác định vị trí dầu dưới lòng đất - những người dò mạch và thầy bói còn chưa xuất hiện - Drake đã chọn khoan ở giữa hòn đảo hẹp được hình thành bởi Sông Dầu ở bên này và kênh cửa xưởng cưa dùng cối xay nước ở bên kia (một kênh để chuyển nước sang bánh xe nghiến).^[57] Tháng 8 năm 1858, trong khi vẫn đang cố gắng tìm thợ khoan giếng, ông đã thuê một đội thợ để đào dầu ở vị trí đó. Thuởng của họ sớm chạm tới dầu nhưng cũng đồng thời chạm mạch nước ngầm làm ngập lỗ. Drake quyết định rằng khoan sẽ rẻ hơn.^[58] Phần còn lại của thử nghiệm đó là một cái hố 2,4 mét được lót bằng các khúc gỗ. Đó là nơi Smith bắt đầu làm việc, với ý định làm giàn đỡ xuống tận nền đá cứng và sẽ khoan hố tại đó.

Những cơn mưa mùa xuân đã làm thấm dẫm đất đảo. Nước dâng lên khi Smith và con trai ông bắt đầu đào. Làm việc trong điều kiện ngập đến eo trong nước băng giá và phải nghỉ giải lao năm hoặc sáu lần một giờ để làm ấm người, họ xoay xở đào qua cát và đất sét xuống hơn 4,8 mét. Nhưng giống như hố cũ, hố mới lại bị ngập nước, làm sập tường. “Có thừa nước dưới đó để nhấn chìm tất cả chúng tôi,” Bác Billy nhớ lại.^[59]



Bản đồ thời đó của hòn đảo được hình thành từ Sông Dầu và kênh cối xay. Giếng khoan đầu tiên của Drake, chú thích “Số 1,” nằm bên dưới trung tâm của bản đồ trên đường gấp khúc bản đồ cắt ngang đảo. (Giếng số 2 ở bên phải, gần với kênh cối xay, được khoan sau này.)

Drake, hoặc Bác Billy, hoặc có thể cả hai người, quyết định họ cần phải đưa một đường ống - gọi là ống chống - xuyên qua cát và đất sét đến nền đá gốc. Drake dùng hai đoạn ống gang dài khoảng 3 mét. Sử dụng một cái tời để quay một búa đóng cọc, họ đã đóng cọc được ống đầu tiên xuống, nhưng lần đập thứ hai đã nghiền nát đầu trên của ống ban đầu, Smith liền vẽ ra một mô hình cho một đường ống có thành dày hơn và Drake đã đúc nó với chiều dài 3 mét. (“Chắc chẳng có ai hợp với tôi hơn thế, trừ phi tôi có một người được tạo ra để tuân lệnh,” Drake ca ngợi Bác Billy.^[60])

Đường ống mới đến vào khoảng ngày 2 tháng 8 năm 1859. Đến ngày 9 tháng 8, búa đóng cọc đã có thể đưa đường ống xuống đá nền ở độ sâu 15 mét.^[61] Bác Billy đến làm việc với một cái đục với ống khoan đàn hồi, sử dụng một sợi dây gắn ròng rọc trên tháp khoan và kéo bằng động cơ hơi nước để nâng và thả ống khoan. Khi lỗ đầy đá dăm, ông phải kéo ống khoan, thay đục bằng một cái xẻng hình ống, và múc đá ra khỏi lỗ. Cái đục bị mòn phải được mài thường xuyên ngay tại chỗ. Trong suốt tháng 8, ông làm việc phẩm phẩm, khoan xuống gần một mét mỗi ngày, đến 15 mét rồi 18 mét.

Quay trở lại New Haven, các nhà đầu tư đã bỏ cuộc với công trình của Drake - tất cả ngoại trừ James Townsend, vị chủ ngân hàng. “Tất cả các ngài đều nghĩ khác tôi,” Drake thuyết phục các nhà đầu tư. “Các ngài đều có những công việc kinh doanh riêng mà không lo bị gián đoạn bởi dự án này, trong khi tôi đặt cược mọi thứ tôi có vào dự án và bây giờ tôi không còn cả hoạt động kinh doanh lẫn vốn.”^[62] Bây giờ, hai người bạn của Drake đã gửi cho ông phiếu tiền 500 đô-la để giúp bạn vượt qua khó khăn. Tháng 8 năm 1859, ngay cả Townsend cũng quyết định rằng dự án này đã thất bại và quyết định chấm dứt nó. Ông đã viết cho Drake trình bày ý định của mình kèm theo một phiếu chuyển tiền trị giá 500 đô-la để thanh toán các hóa đơn cuối cùng. May mắn thay, thư thời đó rất hay bị chậm.

Thứ Bảy, 27 tháng 8, vào gần cuối ngày, Bác Billy đã đục xuyên qua một lớp đá nằm sâu 21 mét và khoan thêm 15 cm nữa. Cả ông và Drake đều có thói quen dành ngày Chủ nhật đi lễ nhà thờ và nghỉ ngơi, giữ lệ

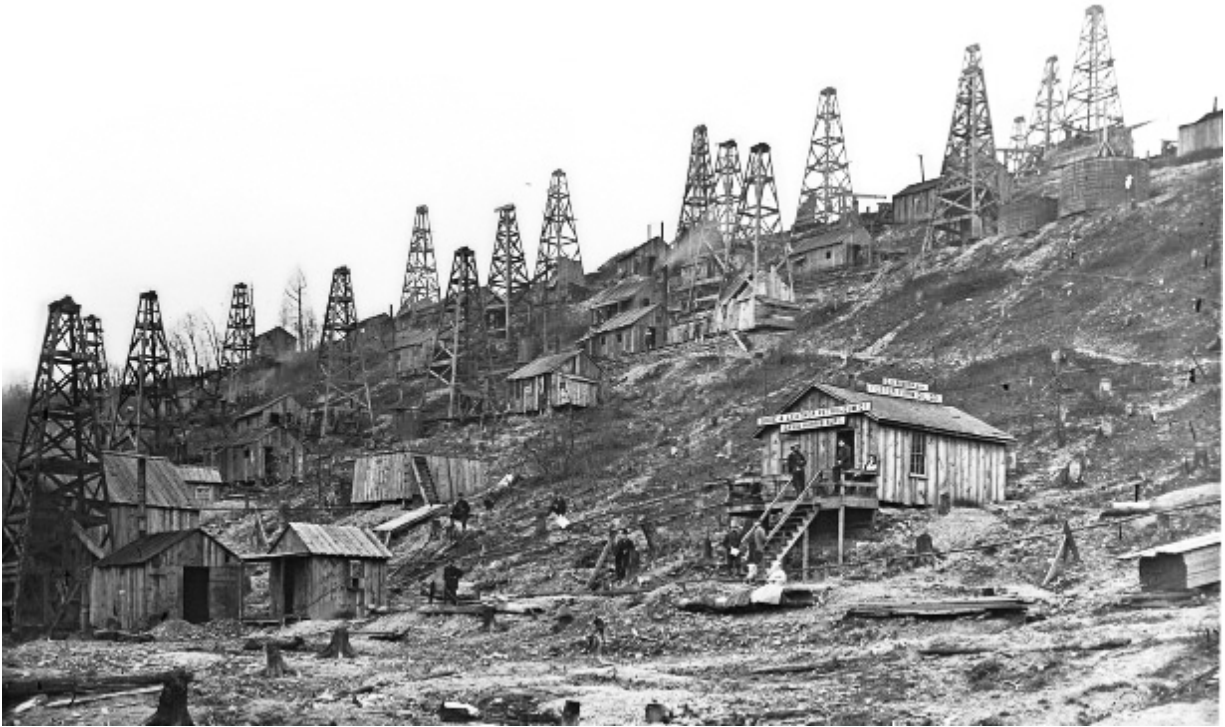
ngày Sa-bát, vì vậy ông kéo ống khoan lên và nghỉ sớm. Ông hẳn có linh tính về tiến độ công việc khi đi nhà thờ vào sáng Chủ nhật, bởi vì sau buổi trưa ông đi bộ từ nhà đến giếng và nhìn xuống. Kỳ diệu thay, dầu đã đầy đến hơn một mét trong hố và lung linh trong ánh chi ều tà.^[63]

THÚ HOANG

Dầu, như Edwin Drake đã nói, là rất khó bán (nếu bất ngờ thì đó là chuyện thường tình với các nguồn năng lượng mới). “Cần có thời gian và công sức để giới thiệu nó,” là lời ông cảnh báo với chủ ngân hàng New Haven James Townsend về vài tháng gây nản lòng sau sự kiện đào trúng mạch dầu lịch sử tháng 8 năm 1859.^[1] Không ai có thể dự đoán về thử thách này. Phản ứng đầu tiên của người dân Titusville đối với thành công của Công ty Dầu Seneca trong việc khoan giếng dầu chính là một cuộc đổ xô điên rồ để có được quyền khai khoáng dọc theo Sông Dầu và khoan thêm nhiều giếng nữa. Giếng dầu Drake thuộc dạng phải bơm lên chứ không phải giếng dầu tự phun. Bác Billy Smith đã gắn một máy bơm tay thông thường vào phần ống chống vào thứ Hai đầu tiên sau lúc đào trúng mạch dầu trong khi Drake giám sát số lượng thùng dầu kiếm được.

“Họ phải bắt đầu với một vấn đề rất đơn giản và cơ bản đó là dùng gì để chứa dầu,” phóng viên đương thời và cũng là người dân Titusville bản địa, Ida Tarbell, đã viết: “Ở Mỹ không có đủ thùng để mua, mặc dù thùng nhựa thông, thùng mật, thùng rượu whisky đủ các loại” đều được đưa vào sử dụng.^[2] Vốn là một doanh nhân sắc sảo, Townsend sớm đã mua một xưởng đóng thùng ở Titusville để đáp ứng nhu cầu. Ông cũng mở một ngân hàng ở Titusville. Một năm sau khi đào trúng mạch, dầu đã chảy ra từ vô số giếng với sản lượng một nghìn thùng mỗi ngày, sản xuất ra khoảng năm trăm thùng dầu đèn. Tuy nhiên, chỉ một phần nhỏ của khối lượng đó được vận chuyển đến nơi bởi phần lớn dầu bị rò rỉ trên đường vận chuyển.

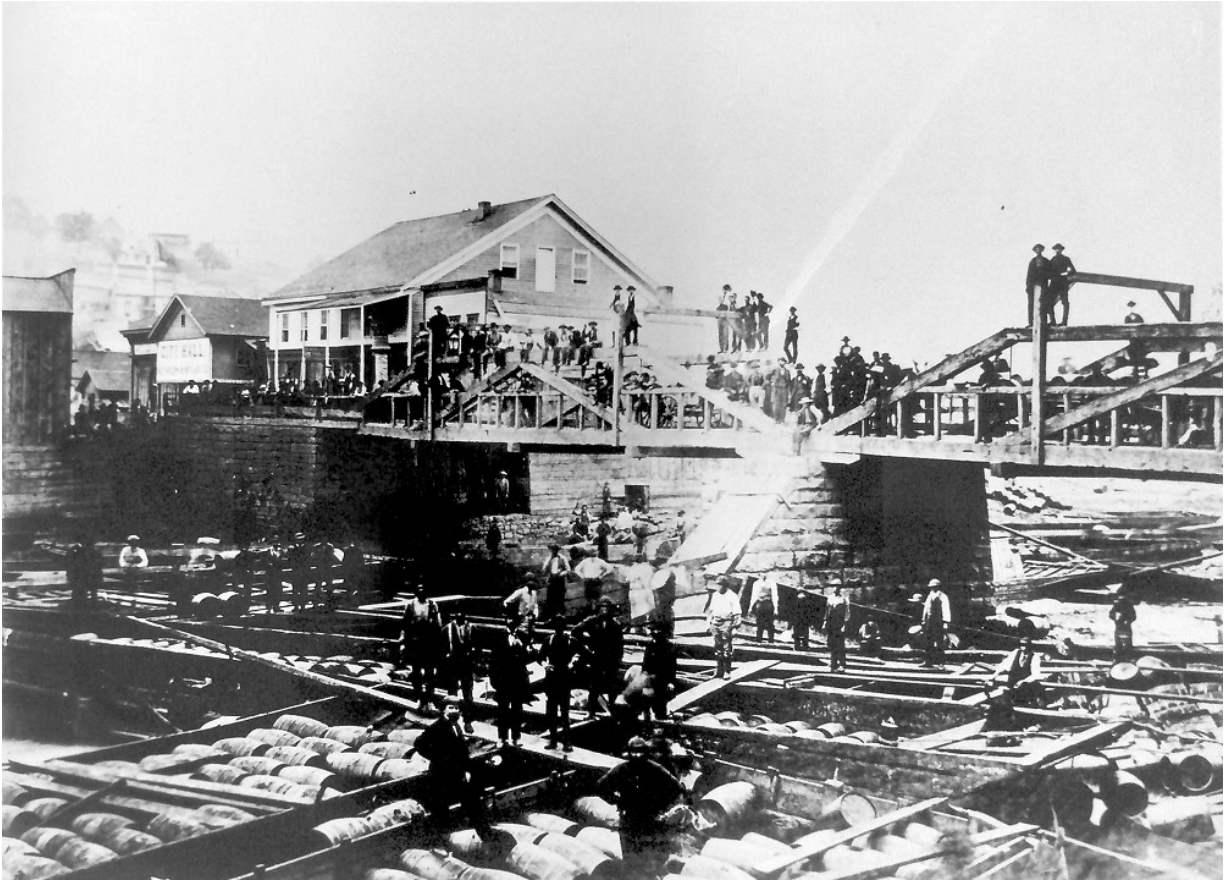
^[3]



Các giếng dầu đầu tiên ở Pennsylvania

Dầu mỏ rất khó bán vì chi phí vận chuyển bằng xe ngựa rất đắt chưa kể đến thứ mùi kinh khủng của dầu thô. Muốn lọc dầu thì cần vận chuyển nó từ Sông Dầu đến một trong nhiều nhà máy lọc dầu, hầu hết đều nhỏ, mọc lên giữa Titusville và Pittsburgh. Nhưng những con đường đất lầy lội hoặc đông cứng trơn bóng với dầu tràn trở thành địa ngục trần gian với các đoàn lũ hành lên tới hàng trăm xe ngựa chở hàng nghìn gallon dầu đóng thùng.

Giải pháp trong khó khăn là: nâng mức nước sông bằng dòng nước mạnh để thả trôi thùng dầu trên thuyền đáy bằng một cách đầy rủi ro từ Sông Dầu xuống đến sông Allegheny. Thuyền đáy bằng chứa tới tám trăm thùng dầu cứ thế nối đuôi nhau chờ dọc bờ sông. Tin đồn về chuyện này đã đi ngược dòng đến tai hơn một chục đập ngăn cối xay tư nhân đang đưa nước vào con sông và các nhánh của nó. Các đội nhân công tại các con đập đã lần lượt mở cửa xả. Lượng nước từ con đập thứ nhất, xa nhất so với con sông, chảy xuống con đập thứ hai và cứ thế, hết lượt này đến lượt khác làm dòng nước dâng lên cùng đoàn thuyền chở dầu. Đến khi đập Kingsland mở ra, 5 km phía dưới Titusville, đã có đủ nước để mực nước sông dâng cao thêm nửa mét hay hơn thế.



Một đợt xả đập lái những chiếc thuyền đầy bằng vào một cây cầu gần Thành phố Dầu.

Một làn gió tươi mát sẽ báo hiệu trận lũ đang đến gần. Đó là một mẹo hay để biết khi nào nên đẩy thuyền vào dòng nước. “Thuyền viên non tay thường thả thuyền của họ khi dòng nước đầu tiên đổ xuống,” sử gia Paul Giddens viết, “chỉ khiến cho thuyền mắc cạn và bị vùi dập trong các đợt xả đập sau. Một tay thủy thủ lão luyện sẽ đợi đến khi nước bắt đầu rút mới thả thuyền ra, phó mình cho lòng thương hại của dòng nước chảy xiết.” Toàn bộ quá trình đó tạo thành một sự kiện hoành tráng, Giddens tiếp tục:

Quang cảnh một vùng nước dâng quả thực dị thường, vì ở đây có 150 đến 200 chiếc thuyền đầy bằng lớn nhỏ, chứa 10.000, 20.000 hoặc 30.000 thùng dầu đã đóng thùng hoặc để chất đóng, trôi nổi hết xoay dọc lại xoay ngang theo một trận lũ ào ạt và điên cuồng lao dọc Sông Dầu, nơi chỉ rộng có 12 rod [198 feet] và rất quanh co khi nó len lỏi qua những ngọn đồi dốc. Chuyển đi tự sát này đòi hỏi tất cả các kỹ năng và sức mạnh của khoảng 500 người chèo thuyền để tránh va chạm với các thuyền khác, đá và vô số chướng ngại vật.^[4]

Ngay cả một đợt xả nước thành công cũng không đảm bảo giao hàng đi đến nơi về đến chốn. Thường sẽ có một phần ba dầu bị mất do rò rỉ thùng trước khi bắt đầu, và một phần ba khác bị rò rỉ trong khi thả trôi từ sông Alleghany đến Pittsburgh.^[5] Do việc giao hàng hạn chế và không đều đặn, dầu mỏ không phải là mối đe dọa trước mắt với ngành than-dầu: đến năm 1860, các nhà máy lọc than-dầu đã tăng sản lượng lên 262.500 thùng một năm.^[6]

Thời thế bắt đầu thay đổi vào năm 1861. Vào tháng 4, tháng mà Nội Chiến bắt đầu với Thiếu tướng Liên minh miền Nam P. G. T. Beauregard nổ súng vào quân Liên bang miền Bắc đang bảo vệ pháo đài Sumter ở South Carolina, thì giếng dầu phun đầu tiên đã xuất hiện ở Sông Dầu. Các giếng khoan nông đời đầu của Drake đã khai thác dầu quá gần bề mặt khiến không hãm được khí đốt tự nhiên. Nhưng vào ngày 17 tháng 4, lúc hoàng hôn, trong một trang trại tại hạ lưu của Sông Dầu, một cột dầu được đẩy bằng khí tự nhiên đã thoát ra từ một hố khoan sâu hơn và phun cao 18 mét vào không trung.

Trong vòng nửa giờ sau khi dầu phun, một đám đông nhỏ đã tụ tập, một ngọn lửa bùng bắt cháy và gây phát nổ gần như ngay lập tức. Khói đen bốc lên và dầu tuôn rơi xuống mặt đất như núi lửa phun trào. Một màn lửa quét qua mặt đất xung quanh và đốt cháy thêm hai giếng dầu và một vài thùng dầu mở, một kho thóc và vô số thùng dầu dự trữ gần đó. Mười chín người đã thiệt mạng; thêm hàng chục người bị thương nặng. Các giếng dầu đã bốc cháy suốt ba ngày trước khi thợ khoan có thể làm lửa tắt dần bằng đất cát và phần bón. Khi đã được kiểm soát, dầu đã chảy với con số đáng kinh ngạc là 3.000 thùng một ngày.^[7] Các giếng phun khác lần lượt xuất hiện, bắt đầu với một giếng vào tháng 5 đã chảy ra 300 thùng một ngày suốt 15 tháng trước khi đột ngột cạn kiệt, đem lại cho người thợ gỗ đã mua trang trại chỉ với 1.500 đô-la một khoản tiền là 2,5 triệu đô-la, tương đương 67,8 triệu đô-la ngày nay.

Tuyến đường sắt đầu tiên đến Titusville vào năm 1862, cuối cùng cũng thay thế cho phương pháp xả đập nhân tạo đầy rủi ro. Trong 14 tháng đầu tiên, tuyến đường sắt Sông Dầu mới vận chuyển hơn 430.000 thùng dầu và giao hơn 459.000 thùng rỗng đến các giếng dầu; 60.000 hành khách đã qua lại khu vực này bằng đường sắt trong cùng thời gian đó.^[8] Cải tiến tuyệt vời nhất chính là các đường ống để chuyển dầu từ miệng giếng đến đường

sắt. Chúng được chế tạo với các kích cỡ khác nhau từ 5 tới 12 cm, dầu chảy nhờ trọng lực hoặc được bơm bằng hơi nước, bắt đầu vào năm 1863. Trong một thời gian, những người đánh xe từng độc quyền vận chuyển dầu đã làm thủng đường ống bằng cuộc chim và đốt dầu tràn. Cuối cùng, đội ngũ bảo vệ có vũ trang đã ngăn họ lại, và họ phải rời đi - 1.500 người chỉ trong một tuần mùa hè năm 1866.^[9]

Trước đó, tất cả các nhà máy chưng cất than-dầu làm dầu hỏa đã chuyển đổi nguyên liệu từ than nén đất tiền sang dầu mỏ, rẻ hơn 1 đô-la/1 gallon. Không còn hồ sơ đầy đủ về sự gia tăng sản xuất dầu thô trong Nội Chiến nhưng Giddens đã nhận ra hiện tượng song hành trong sự gia tăng thuế thu được từ chính phủ liên bang đối với dầu mỏ tinh chế: vào bốn tháng cuối năm 1862 là khoảng 237.000 đô-la; năm 1863 là 1,2 triệu đô-la; năm 1864 là 2,3 triệu đô-la; năm 1865 là 3,05 triệu đô-la.^[10]

Đồng thời, chiến tranh đã bóp nghẹt ba nguồn nhiên liệu thấp sáng quan trọng khác. Việc phong tỏa các cảng phía Nam của Liên bang miền Bắc đã làm gián đoạn các chuyến hàng nhựa thông bằng tàu thủy đến các nhà máy chưng cất phía Bắc, đẩy nhanh việc chấp nhận sử dụng dầu hỏa từ dầu mỏ ở miền Bắc.^[11] Một chính sách thuế liên bang hồ đồ mới khiến cho cồn ethanol trở nên đắt đỏ. Và phe Liên minh miền Nam đã sẵn các con tàu săn cá voi, chứ không phải cá voi, đến mức gần tuyệt diệt.

Giai đoạn trước của lịch sử Mỹ, để tài trợ cho chính phủ của nước Mỹ mới, Quốc hội đã đánh thuế cồn ethanol, một loại thuế bị bãi bỏ vào năm 1817. Đến năm 1860, người Mỹ đã tiêu thụ hơn 13 triệu gallon cồn ethanol mỗi năm, 80% trong số đó để làm thành phần cho chất đốt lỏng.^[12] Thị trường khổng lồ đó là một nguồn thu béo bở khi Liên bang miền Bắc chuyển sang gây quỹ cho cuộc chiến với Liên minh miền Nam ly khai. Giữa lúc bắt đầu Nội Chiến, vào tháng 4 năm 1861 và ngày 1 tháng 7 năm 1862, Quốc hội thông qua một hệ thống để đánh và thu thuế. Đạo luật này nhằm tạo Doanh thu nội bộ để hỗ trợ Chính phủ và trả lãi cho nợ công.^[13] Đạo luật cho thiết lập một cơ quan chính phủ mới mang tên Sở Thuế vụ, trong Bộ Tài chính, và đánh một số loại thuế mới và lệ phí cấp giấy phép. Điều luật có tính chất phá hoại nhất trong số này là “thuế 20 xu trên mỗi gallon” cồn ethanol, thu qua các nhà máy chưng cất. Thuế này tiếp tục tăng lên trong cuộc Nội Chiến tới kịch trần vào năm 1864, khoảng 2 đô-la mỗi gallon, hoặc 30 đô-la ngày nay.^[14]

Mục đích của thuế cồn là đánh thuế đồ uống có cồn, nhưng lại mắc lỗi nghiêm trọng là không loại trừ cồn công nghiệp và cồn chiếu sáng. Thuế cao đã làm tăng giá của những các loại cồn này khoảng 2,5 đô-la mỗi gallon, từ đó đẩy nhiên liệu này ra khỏi thị trường đúng lúc dầu hỏa có nguồn gốc từ dầu mỏ được đưa vào.

Camphene, thành phần khác của chất đốt lỏng, cũng tăng giá như vậy từ 35 xu mỗi gallon trước Nội Chiến lên tới 3,80 đô-la vào năm 1864.^[15] Đây cũng không phải lần cuối cùng mà một sản phẩm dầu mỏ - dầu hỏa - tiến vào thị trường nhờ trợ cấp của chính phủ - không bị đánh thuế - do đó có thể áp đảo các loại nhiên liệu khác. Đến năm 1870, camphene và cồn đã biến mất hoàn toàn khỏi thị trường trong khi doanh số dầu hỏa có nguồn gốc từ dầu mỏ đã đạt 200 triệu gallon mỗi năm.^[16]

Một sản phẩm chiếu sáng khác cạnh tranh với dầu hỏa là dầu cá nhà táng. Ngành nghề săn bắt cá voi tăng trưởng mạnh mẽ trước chiến tranh nay rơi vào tình trạng sụt giảm thảm hại trong và sau chiến tranh.^[17] Một nguyên nhân quan trọng nữa của sự suy giảm này là việc săn đuổi tàu cá. Trớ trêu thay, khi những tàu săn cá voi săn lùng và giết hại những con cá voi thì những tàu tuần dương của hải quân Liên minh miền Nam cũng săn lùng và phá hủy tàu săn cá voi của miền Bắc.

Thuyền trưởng của tàu tuần dương Liên minh miền Nam khét tiếng nhất là một cựu sĩ quan hải quân Mỹ tên là Raphael Semmes, năm mươi hai tuổi vào năm 1861, một người địa phương Maryland kiêm luật sư và nhà báo hải quân nổi tiếng với tính khí nóng nảy cùng khả năng hành sự lạnh lùng. Đường như ông đã kết hôn với con gái của một gia đình theo Phong trào Giám Lý ở Cincinnati có niềm tin chống lại tình trạng chiếm hữu nô lệ. Bằng cách nào đó, những đặc tính đầy mâu thuẫn của ông trở nên phù hợp với thách thức của chiến tranh. Viên thuyền trưởng trở thành một thợ săn tàn nhẫn cho sự nghiệp Liên minh miền Nam, được một tờ báo ở Philadelphia gán cho biệt danh “con sói chốn biển sâu.”^[18]

Con tàu đột kích đầu tiên của Semmes là một chiếc tàu buôn kết hợp động cơ hơi nước tốc độ chậm mang tên *Sumter*, đã tóm được không dưới mười tàu buôn của Liên bang trong tháng đầu tiên hoạt động, tháng 6 năm 1861.^[19] Semmes chỉ đốt một tàu đến từ Maine không chở hàng. Chín tàu còn lại mang hàng hóa thuộc sở hữu nước ngoài, khiến ông không thể dỡ

hàng tại cảng nước ngoài và tịch thu chúng để phục vụ lợi ích của Liên minh.

Ba tháng sau đó chỉ có hai tàu chiến lợi phẩm. Tàu *Sumter* đi bằng buồm được nhưng trục vít chân vịt của nó đã được cố định vào thân tàu, gây ra lực cản làm chậm tàu khi chỉ đi bằng buồm. Nó cũng không thể mang đủ than cho hơn tám ngày chạy động cơ hơi nước. Những vụ bắt giữ đầu tiên đã tạo cho Semmes một danh tiếng đáng sợ trên báo chí miền Bắc, khiến các tàu buôn phải lẫn trốn trong cảng hoặc tránh vùng biển Caribe, nơi các giới hạn thiết kế và trang thiết bị của tàu *Sumter* sẽ gây khó khăn cho ông. “Không có ích gì để đuổi theo thuyền buồm ở những vùng biển này nữa,” ông phát biểu vào tháng 12; “những người miền Bắc gần như đã biến mất tăm.”^[20]

Semmes đã đánh chiếm thêm hai chuyến cuối rồi tiến về phía đông bắc vào Đại Tây Dương. Ở vùng nước sâu đó, ông tóm được và đốt cháy tàu cá voi đầu tiên, chiếc *Eben Dodge* từ New Bedford, trước khi một cơn bão làm cho tàu chiến của ông bị thủng và trôi dạt.^{(22)[21]} Semmes tự hào về tàu *Sumter* bắt chấp những bất cập của nó. “Nó ra khơi sáu tháng [và] bắt được 17 tàu,” ông viết trong hồi ký tuấn tra chiến tranh năm 1861.^[22] Chưa kể, ông để lại tàu *Sumter* ở Gibraltar để bán.

Bảy tháng sau, dừng chân ở Bahamas trên đường về nhà sau khi rời khỏi Anh, Semmes nhận lệnh đến Liverpool để tiếp nhận quyền chỉ huy tàu mới. Con tàu nghìn tấn *Alabama*, toàn bộ màu đen, vẫn đang được đóng bởi công ty John Laird, Sons & Company của Scotland, nó sẽ có mọi thứ mà chiếc *Sumter* thiếu. Nó dài quá cỡ (66 mét) và hẹp (rộng 10 mét), ba cột buồm, với một động cơ hơi nước hai xi-lanh nằm ngang 300 mã lực và một chân vịt bằng đồng hai cánh có thể thu vào và cất gọn, loại bỏ một trong những tính năng tồi tệ nhất của tàu *Sumter*. Ống khói cũng có thể hạ xuống, làm cho con tàu tuấn dương có bên ngoài giống một tàu buôn vô hại. Nó nhanh hơn so với những con mồi nó sẽ săn, có khả năng đạt vận tốc 10 hải lý một giờ chỉ bằng buồm và hơn 13 hải lý một giờ với động cơ hơi nước và buồm kết hợp.

Con tàu rời Liverpool mà không có vũ khí để đáp ứng các điều kiện hạn chế trung lập từ phía Anh. Sau khi được vũ trang ngoài đảo Terceira ở Azores, ở giữa Đại Tây Dương phía tây Bồ Đào Nha, nó đã trang bị sáu khẩu pháo bắn đạn 32 pound nạp từ miệng nòng được cố định hai mạn trái

phải, và hai súng lớn có trục xoay tùy chỉnh đặt giữa thân tàu có thể quay mọi hướng - một đại bác tầm xa bắn đạn 100 pound nòng bảy inch có rãnh và một đại bác nòng trơn tám inch. Quan trọng nhất là tàu *Alabama* có thể mang 350 tấn than, đủ để vận hành hết công suất động cơ liên tục 18 ngày, và với một bình ngưng được gắn vào động cơ hơi nước để thu nước uống từ nước biển, nó có thể ở ngoài đại dương trong nhiều tháng.

Semmes nắm quyền chỉ huy tàu *Alabama* ở Azores vào ngày 24 tháng 8 năm 1862 và bắt đầu rình rập các tàu săn cá voi miền Bắc ngay khi vũ khí được trang bị và boong tàu được chống thấm. Cá nhà táng đuổi theo đàn cá cơm và cá mòi ở Azores vào mùa xuân và mùa hè, cho đến tận đầu tháng 10. Đây là cơ hội béo bở và phong phú, với những cặp cá voi dãn đàn cá tạo thành hình khối cầu rồi thay nhau nhảy bổ vào chúng và há miệng để đớp.

Sáu tàu đầu tiên mà hoa tiêu của *Alabama* phát hiện được đầu năm ngoài tầm bắn hoặc là tàu nước ngoài, nhưng vào ngày 5 tháng 9, Semmes viết, họ bắt gặp một con tàu “đang nằm đó... với một con cá voi khổng lồ mà nó vừa săn được, con cá bị trói vào cạnh mạn tàu, nhô một phần lên khỏi mặt nước do dây trục buồm.” Lúng túng với con cá voi đang được lọc mỡ, tàu *Ocmulgee* từ Edgartown, Massachusetts đã tưởng mình gặp may khi trông thấy lá cờ Mỹ cắm trên *Alabama* và trở thành miếng mồi ngon cho tàu chiến của Liên minh miền Nam.^[23]

Vài ngày sau, chuẩn bị cho thủy thủ đoàn người Anh ồn ào làm nhiệm vụ bằng cách đọc cho họ những điều luật trừng phạt trong chiến tranh, Semmes đã đuổi theo một tàu nhỏ hai buồm săn cá voi của người Bồ Đào Nha, khiến ông không khỏi thất vọng. “Đây là con tàu nước ngoài duy nhất mà tôi từng tóm được,” Semmes nhận xét; “ngành săn cá voi gần như trở thành độc quyền của Mỹ.” Ông coi dân miền Bắc là bè lũ hạ đẳng thấp kém nhưng riêng đánh bắt cá voi thì ông cho là ngoại lệ, “sự độc quyền đó... là kết quả của kỹ năng thương thừa, năng lượng, công nghiệp, lòng can đảm và sự kiên trì của thợ săn cá voi miền Bắc, những kẻ có lẽ là những thủy thủ can trường nhất trên toàn thế giới.”^[24]

Chiều cùng ngày, Semmes chiếm giữ chiếc *Ocean Rover*, một tàu săn cá voi đang trên đường về New Bedford, chất nặng 1.100 thùng dầu, và buổi sáng tiếp theo đến lượt tàu *Alert* của New London, Connecticut, mới chỉ 16 ngày rời cảng và chất đầy quần áo, lương thực tươi, và những tờ

báo gần đây mà Semmes sử dụng làm tin tình báo. Ông đã đốt những con tàu đó và vô số tàu khác trong các tuần tiếp theo, tiến về phía bắc đến bãi ngầm Grand Banks của Newfoundland khi thiếu con mồi ở vùng biển quần đảo Azores, không dưới 20 tàu chiến lợi phẩm trong hai tháng săn bắt. Tổng cộng, từ năm 1861 cho đến khi bại trận và bị nhấn chìm bởi tàu USS *Kearsarge* trong eo biển Anh ngoài khơi Cherbourg, Pháp, vào năm 1864, tàu *Alabama* đã bắt được 65 tàu Liên bang miền Bắc trị giá hơn 5 triệu đô-la (95 triệu đô-la ngày nay). Hầu hết trong số chúng là tàu săn cá voi.

Trong năm cuối cùng của cuộc chiến, một tàu đột kích miền Nam khác không kém phần nguy hiểm, chiếc *Shenandoah*, đã tiến vào eo biển Bering giữa Siberia và thuộc địa Alaska của Nga, tìm kiếm những tàu săn cá voi miền Bắc để đốt trụi. Nó đến nơi gần hai tháng sau khi chiến tranh chính thức kết thúc vào ngày 9 tháng 5 năm 1865, nhưng cả nó cũng như đội tàu săn cá voi ở Biển Bering vẫn chưa hề hay biết về việc Liên minh miền Nam đã đầu hàng. *Shenandoah* đã tóm được và đốt cháy bốn tàu, cũng như bỏ qua một tàu khác bị dịch đậu mùa - án tử cho thủy thủ đoàn miền Bắc ở quá xa bờ để được cứu viện. Bây giờ, con tàu đột kích nhanh hơn bất kỳ tàu săn cá voi nào đã vào eo biển hẹp, đợi thời cơ trong bóng tối, và khi tia sáng đầu tiên của bình minh ló rạng, nó đếm được mười tàu buồm trong tầm bắn.^[25]



Tranh của Edouard Manet, Trận chiến giữa tàu Kearsarge và tàu Alabama

Nhận ra những tàu săn cá voi đã mắc bẫy, *Shenandoah* đầu tiên đuổi theo và chặn được một tàu cố đào thoát về phía nam: tàu cá voi *Waverly* từ Bedford. Khi đã bị thiêu rụi, đám cháy lớn báo động tất cả các tàu khác trong eo biển, nhưng những người săn cá voi không vũ trang không thể kháng cự gì hết. Tổng cộng, chiếc *Shenandoah* đã tóm được 50 tàu săn cá voi chỉ trong tuần đó, 46 tàu trong số chúng đã bị đốt cháy. Thiệt hại ước tính hơn 1 triệu đô-la (hơn 14,6 triệu đô-la ngày nay) cho các tàu và

400.000 đô-la (5,9 triệu đô-la ngày nay) cho hàng hóa là dầu và xương cá voi.^[26]

Ngành săn cá voi Mỹ không bao giờ phục hồi lại. Từ tổng số 722 chiếc năm 1846, đội tàu giảm còn 124 chiếc vào năm 1886.^[27] Vào tháng 9 năm 1871, đuổi theo những con cá voi đầu cong ngày càng cảnh giác qua eo biển Bering vào biển Chukchi ngoài khơi vùng North Slope thuộc Alaska, 33 trong số 40 tàu cá voi, 22 chiếc từ New Bedford, đã mắc kẹt trong băng và bị bỏ lại. Thời điểm đó, dầu hỏa có nguồn gốc từ dầu mỏ đã thay thế dầu cá voi làm nhiên liệu chiếu sáng ở Mỹ và trên toàn thế giới. Nghề săn cá voi vẫn tồn tại nhưng suy giảm mạnh, chuyển hướng từ dầu sang xương cá voi - làm khung áo corset, khung ô và các ứng dụng khác sau này được thay bằng kim loại hoặc nhựa. Dầu cá nhà táng tiếp tục được dùng làm chất bôi trơn tinh chế - đây là loại dầu được ưa chuộng cho súng máy trong cả hai cuộc thế chiến - cho đến những năm 1960, khi lần đầu tiên dầu jojoba và sau đó là chất bôi trơn este tổng hợp thay thế nó.

Lượng dầu dãi dào ngoài mong đợi trong những năm đầu tại Sông Dầu giảm giá trị một phần do sự thất thoát kinh khủng từ các sự cố tràn, cháy và vận chuyển bằng dòng nước xả đập. Một nguyên nhân gây mất mát và lãng phí gián tiếp hơn nhưng cũng lâu dài hơn và gây hệ quả lớn hơn là tình trạng luật quản lý tài nguyên ngầm.^[28] Theo luật thời đó, dầu mỏ ngầm tương tự như nước ngầm, mang tính *ferae naturae* (“thiên nhiên hoang dã”), có thể coi là một dạng “vật hoang dã” đặc hữu và là đối tượng của cùng những đi đầu luật về tài sản. Thời đó người ta chưa biết rằng nước ngầm thấm sâu trong lớp đá xốp ngầm; người ta cho rằng nước chảy thành dòng chảy ngầm giống như dòng sông dòng suối trên mặt đất. Cách duy nhất để xác định vị trí nước ngầm là đào giếng. Rồi nước sẽ chảy đầy giếng, được đặt ở một nơi cụ thể, trở thành tài sản của người sở hữu mảnh đất có giếng được đào hoặc thuộc về người mà chủ đất đã nhượng quyền khai thác.^[29]

Trường hợp đầu tiên ở Mỹ về vấn đề pháp lý này liên quan đến hai người đàn ông đang tranh chấp về quyền sở hữu một con cáo: Ông Post, người săn nó, và ông Pierson, người có biết ông Post đang đuổi nó nhưng vẫn bắt và giết con cáo. (Trên thực tế, cả hai đều không sở hữu mảnh đất mà họ đang săn bắt - một bãi biển.) Ông Post tuyên bố sở hữu con cáo bằng quyền theo đuổi chủ động và kiện ông Pierson về tội xâm phạm tài sản.

Ông Pierson kháng cáo rằng con cáo mà ông Post săn vẫn chưa chịu sự kiểm soát của ông ta bằng cách làm bị thương, bắt hoặc giết, do đó chưa phải là tài sản của ông Post; và nó đã trở thành tài sản của ông Pierson khi ông bắt và giết được nó.

Ông Post đã thắng tại phiên tòa, nhưng bản án đã bị đảo ngược khi kháng cáo. “Để có được quyền sở hữu một vật hoang dã, một người phải chiếm được nó,” tòa án Massachusetts đã đưa ra phán quyết của phiên kháng cáo vào năm 1805. “Người ‘đầu tiên giết và bắt được’ sẽ chiếm thượng phong trước pháp luật. Nếu Post gây thương tích nguy kịch cho con vật thì có thể sở hữu nó, vì thương tích sẽ tước đi quyền tự do tự nhiên của nó. Tuy nhiên, nguyên đơn chỉ mới thể hiện sự truy đuổi nên chưa khẳng định được quyền sở hữu với con vật.”^[30]

Tòa án Anh và Mỹ đồng ý rằng chất lỏng ngầm cũng có quyền tự do tự nhiên, giống như trường hợp con cáo. Tuyên bố rõ ràng nhất về vấn đề sở hữu tài sản hoang dã trong luật pháp Mỹ thế kỷ 19 đã xuất hiện trong một quyết định của Tòa án Tối cao Pennsylvania kể từ năm 1889. “Nước và dầu,” tòa tuyên bố, “và cả khí ga mạnh hơn, có thể được phân loại thành, nếu phép so sánh này không quá huyênh ảo, là khoáng sản mang tính thiên nhiên hoang dã. Giống với động vật, và khác so với các khoáng vật khác, chúng có sức mạnh và xu hướng trốn thoát mà không theo ý chí của chủ sở hữu... Chúng thuộc về chủ sở hữu của mảnh đất, và là một phần của nó, miễn là chúng ở trên hoặc trong đất, và chịu sự kiểm soát của anh ta; nhưng khi chúng thoát khỏi đó và đi vào vùng đất khác, hoặc rơi vào sự kiểm soát của người khác, quyền sở hữu của chủ cũ sẽ không còn.”^[31]

Một số khoáng vật - như quặng sắt, than - vẫn cố định ở nơi chúng được tìm thấy và có thể được tính là tài sản. Các khoáng sản khác - như nước, dầu, khí đốt tự nhiên - di chuyển dưới lòng đất trong các kênh không xác định, đôi khi gây phương hại cho người dùng tiềm năng khác. Trong một vụ kiện quan trọng ở Anh năm 1843, *Acton V. Blundell*, đáp lại sự thất vọng của một chủ xưởng bông có giếng nước bị khô cạn khi mỏ than gần đó được đào sâu, một tòa án ở Anh kết luận rằng các nguồn tài sản ngầm là không thể dự đoán được và có thể thay đổi bất cứ lúc nào. “Không có chủ sở hữu nào biết có bao nhiêu nước nằm bên dưới lớp đất của mình,” tòa án kết luận: “ban đầu mất đi bao nhiêu nước, hoặc trung chuyển bao nhiêu nước, hoặc nhận được bao nhiêu nước: cho đến thời điểm giếng được đào,

và nước đổ vào giếng, không thể nói chính xác có sự liên hệ nào với cái giếng, hay với bất kỳ dòng chảy nào của nước cả.” Vì chủ sở hữu nhà máy không sở hữu nước ngầm ngoài phần nước lấp đầy giếng của anh ta, tòa án đã không chấp nhận việc đền bù cho anh ta khi giếng của anh ta bị khô.
[32]

Vấn đề với nước thế nào thì với dầu mỏ cũng vậy. Phần đất trên bề mặt thuộc về chủ sở hữu đất nhưng dầu dưới bề mặt không thuộc về ai cho đến khi nó được tìm thấy và lấy đi, và bất cứ ai lấy nó trước tiên đều biến nó thành tài sản của mình. Nguyên tắc thông luật này, được gọi là quy tắc bắt giữ, thiết lập một điều kiện mà nhà sinh học Garrett Hardin, trong một bài báo lịch sử năm 1968 đăng trên *Science*, đã gọi là “Bi kịch của chung.”^[33] Bi kịch của chung này - của bất kỳ nguồn tài nguyên nào được sở hữu chung bởi cộng đồng - là mỗi người dùng đều có động lực sử dụng càng nhiều tài nguyên càng tốt mà không quan tâm đến sự cạn kiệt hoặc cướp phần của người khác. Với xăng dầu, bi kịch của chung có nghĩa là mỗi chủ sở hữu giếng dầu có động lực để bơm càng nhiều dầu lên càng nhanh càng tốt, trước khi các giếng khác rút cạn nguồn cung chung. “Hủy hoại là điểm đến của tất cả những kẻ vội vàng,” Hardin cảnh báo, “mỗi cá nhân sẽ theo đuổi lợi ích tốt nhất của riêng mình trong một xã hội tin vào sự tự do khai thác của chung. Tự do khai thác của chung sẽ đem đến sự hủy hoại cho tất cả.”^[34]

Sự hủy hoại trong trường hợp ở Sông Dầu không phải là vấn đề cạn kiệt mà là sự phá hủy của toàn bộ thung lũng mà Sông Dầu chảy qua lẫn hệ thống đường thủy nối liền chảy xuôi dòng. Khi Ida Tarbell lên ba vào năm 1860, cô đã cùng gia đình chuyển đến nơi mà cô gọi là một “căn chòi” trên một nhánh của Sông Dầu để cha cô, một thợ mộc, có thể làm thùng dầu bằng gỗ cho việc buôn bán đang phát triển. Cô lớn lên ở hạt Venango, học trung học ở Titusville và nhận ra sự tắc trách mà quy tắc bắt giữ khuyến khích. “Nếu phát hiện được dầu,” cô viết trong tự truyện, “nếu giếng chảy dãi dào, mọi cây, mọi bụi rậm, từng chút cỏ trong vùng lân cận sẽ bị phủ bằng thứ dầu mỡ đen và héo hon đến chết. Hắc ín và dầu làm hoen ố vạn vật.”^[35]

Bi kịch của chung mà Tarbell chứng kiến thuở bé có tính chất cục bộ, nhưng sự ô nhiễm đồng hành cùng việc sản xuất dầu mỏ vượt xa bản thân những khu khai thác dầu. Đến năm 1870, đầu tư vào ngành dầu khí Mỹ đã

đạt 200 triệu đô-la, tương đương gần 4 tỉ đô-la ngày nay. Sản lượng hằng năm chỉ riêng ở Pennsylvania là hơn 4,8 triệu thùng. Chỉ ngành bông vượt dầu trong xuất khẩu ở Mỹ.^[36] Khi sản lượng tăng, các nhà máy lọc dầu cũng chắt đóng các phụ phẩm mà họ không sử dụng. Họ đổ chúng vào môi trường chung. Họ đổ sinh chất nhẹ - đặc biệt là xăng - thẳng lên mặt đất hoặc hồ chôn để bốc hơi tự nhiên. Hoặc xả chúng vào những con lạch và sông cùng chất thải công nghiệp, nước thải và rác lò mổ độc gây ô nhiễm đường thủy của nước Mỹ. Những dòng sông đục ngầu với chúng; những con lạch thì bùng cháy.

Phải sang thế kỷ tiếp theo thì con người mới phải đối mặt với bi kịch của chung ở tầnn quốc gia và sau đó là ở quy mô quốc tế. Song trước tiên công nghệ sẽ đối đầu với thách thức truyền năng lượng từ xa, và một cuộc chạy đua khoa học kỹ thuật sẽ nổi lên giữa các hình thức cạnh tranh vềđiện năng.

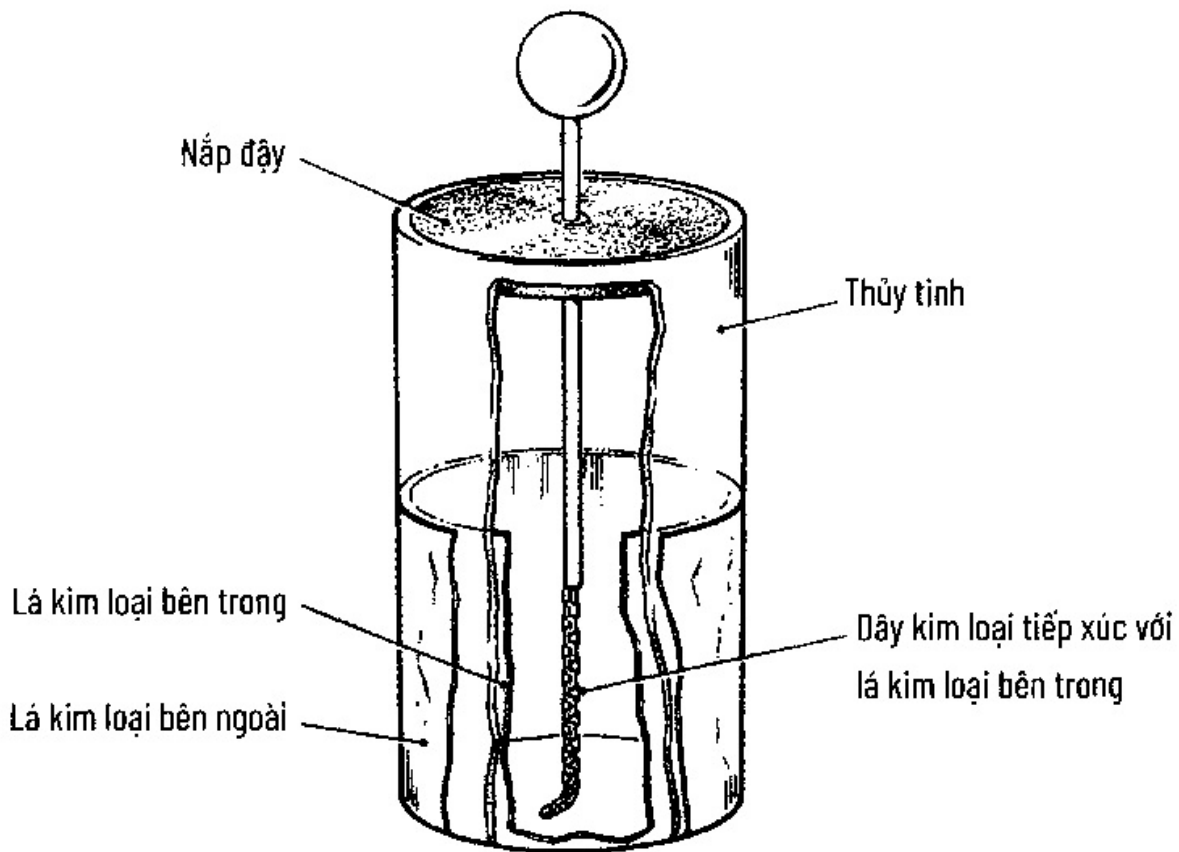
SỨC MẠNH CỦA TỰ NHIÊN

Benjamin Franklin đã quen với mùa hè oi bức ở Philadelphia. Ông chạy trốn khỏi nơi đó vào năm 1723 từ Boston, nơi sinh của mình, khi ông mới mười bảy tuổi và biến nó thành nơi ẩn náu cho đến hết đời. Đến giữa tuổi ba mươi, ông đã có thể tự chủ tài chính nhờ xuất bản *Poor Richards Almanac* (Niên giám của Richard Khốn khổ), đánh giá hàng năm của ông cho độc giả phổ thông, và bắt đầu dành thời gian của mình để phát minh và thí nghiệm.

Điện thu hút sự chú ý của ông từ năm 1743, và mạnh mẽ hơn vào năm 1747, khi một người bạn ở London, Peter Collinson, gửi cho ông một ống thủy tinh để tạo ra tĩnh điện, loại điện duy nhất được biết đến thời đó. “Tôi chưa bao giờ tham gia vào bất kỳ nghiên cứu nào thu hút hoàn toàn sự chú ý và thời gian của tôi đến nhường này,” Franklin viết cho Collinson đầy cảm kích.^[1] Ông vẫn mải mê với điện vào cuối tháng 4 năm 1749, khi ông nói với Collinson rằng “với thời tiết nóng nực sắp tới,” ông cùng bạn bè đã lên kế hoạch kết thúc thí nghiệm mùa đông bằng một chuyến dã ngoại trên bờ sông Schuylkill.^[2]

Franklin cho biết ông tưởng tượng bữa tiệc dã ngoại sẽ đốt cháy “rượu” để bắt lửa - cần được chưng cất từ rượu - ở phía xa của dòng sông bằng cách dẫn một “tia lửa... từ bờ bên này sang bên kia qua sông, không dùng bất kỳ vật dẫn nào khác ngoài nước,” một thí nghiệm họ từng thực hiện trước đó. Họ sẽ sử dụng sốc điện để thịt một con gà tây cho bữa tối, nướng nó trên một cái “xiên điện” - xiên nướng quay bằng mô tơ tĩnh điện do Franklin phát minh - trên lửa mồi từ một bình Leiden. Họ sẽ uống mừng sức khỏe của các kỹ sư điện nổi tiếng của Anh và châu Âu từ “những cốc rượu tích điện” - cốc đầy có tĩnh điện để gây sốc môi của người uống rượu - trong khi bắn súng được khai hỏa nhờ một “pin điện.”^[3]

Pin điện của Franklin là một hàng kết nối các bình Leyden. Ông đặt ra thuật ngữ battery này khi so sánh nó với một khẩu đội đại bác (a battery of cannon), một hàng đại bác được xếp hàng sao cho có thể được bắn cùng lúc để nã (batter) vào một mục tiêu. Pin hóa học thời đó vẫn chưa được thai nghén; khi nó ra đời các nhà khoa học cũng sẽ mượn thuật ngữ này của Franklin.



Bên trong của một bình Leyden, pin thế hệ đầu tiên. Lá kim loại lớp trong và lớp ngoài lưu trữ tĩnh điện, được ngăn cách bằng thủy tinh không dẫn điện. Quả bóng và sợi xích cho phép mạch được đóng giữa các lá kim loại, tích điện cho chúng.

Bình Leyden là thiết bị lưu trữ điện đầu tiên trên thế giới, được phát minh độc lập ở Pomerania và ở Leyden, Hà Lan, vào năm 1745. Nó lưu trữ điện tích được tạo ra bởi tiếp xúc, loại mà chúng ta gọi là tĩnh điện ngày nay. Trong thí nghiệm thả diều nổi tiếng năm 1752, Franklin đã thả một con diều trong cơn bão để thu thập điện tích, nó sẽ được dẫn từ dây diều ướt vào một lọ Leyden. Thí nghiệm đã chứng minh rằng các tia lửa và cú sốc khiêm tốn của tĩnh điện giống hệt với những tia sét lớn làm chia cắt bầu trời trong những cơn bão. Tưởng thưởng cho “những khám phá về điện”

như vậy, Hiệp hội Hoàng gia London bầu Franklin làm thành viên vào năm 1753 và trao cho ông Huy chương Copley, phần thưởng cao quý nhất của hội.

Công bố giải thưởng, Bá tước Macclesfield mô tả điện như một “đối tượng “mà không lâu trước đó, được cho là chẳng mấy quan trọng... hoặc chẳng có bất cứ đi ều gì đáng chú ý sẽ phát sinh từ nó.”^[4] Bây giờ, như nhà hóa học đương thời Joseph Priestley sẽ khẳng định, “Khám phá vĩ đại nhất mà Nhà bác học Franklin đã phát hiện ra là điện, và đó là ứng dụng thực tế lớn lao nhất cho nhân loại, là sự tương đ ồng hoàn hảo giữa điện và ánh sáng.”^[5]



Benjamin Franklin thực hiện thí nghiệm thả diều để chứng minh rằng sét là điện. Bình Leyden nằm dưới chân cậu bé, được tích điện từ chiếc chìa khóa trên cánh diều.

Thí nghiệm thả diều của Franklin đã nâng điện từ trạng thái gây tò mò như mảnh lối ảo thuật lên tầm khoa học nghiêm túc và ứng dụng thực tế.

Ứng dụng thực tế được ra đời là cột thu lôi Franklin, một phát minh ngày nay có thể coi là vô nghĩa, bị lãng quên đằng sau dòng điện được ứng dụng rộng rãi. Nhưng trước khi điện có thể cạnh tranh với các nguồn năng

lượng hiện có - như sức kéo từ động vật, cối xay gió và nước, cánh buồm, động cơ hơi nước - vấn đề lớn cần được giải quyết là: tìm cách tạo ra nó liên tục, rẻ và đủ lượng để sử dụng nó đi đâu khiến các cỗ máy có khả năng sinh công hữu ích. Trong thời Franklin, những ứng dụng như vậy thậm chí còn chưa được hình dung ra. Điện là thứ mà con người cần đề phòng và cũng là thứ để khám phá. Nó có giá trị ngang bằng như một công cụ đi đầu tra cho các nhà hóa học. Nhờ có điện, Priestley cô lập và xác định được oxy cũng như chín loại khí khác, bao gồm NO, N₂O, SO₂, NH₃, N và CO. Các đóng góp đó đem đến cho ông một Huy chương Copley vào năm 1773.

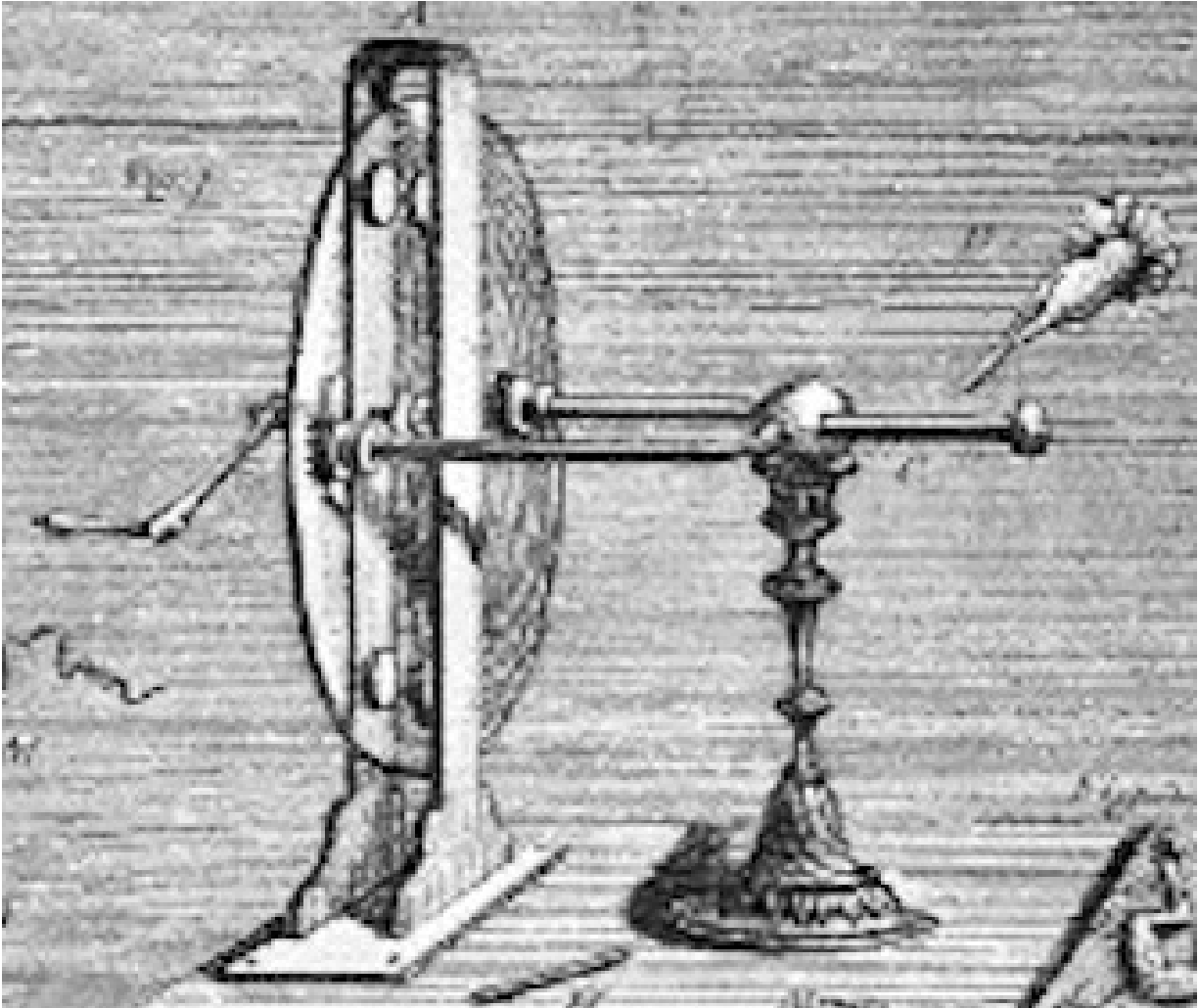
Điện là một vấn đề khó khăn hơn hơi nước. Mặc dù ban đầu người ta nghĩ nó có dạng lỏng, nhưng nó không phải thứ có thể sôi khi đun nóng một khối lượng chất lỏng và được giải phóng trong khối lượng được kiểm soát để đẩy một piston nặng quay bánh xe. Nó không phải là động cơ chính - một cỗ máy như cối xay gió hay động cơ hơi nước, chuyển đổi một nguồn năng lượng tự nhiên thành cơ năng - nó là một tác nhân truyền dẫn. Bình Leyden phóng điện theo chu kỳ, bao gồm nhiều chớp sáng liên tiếp, lần sau yếu hơn lần trước. Một dây dẫn - sợi dây, một dòng sông - có thể mang điện tích, nhưng khi đến cuối dây hoặc phía bên kia của sông, điện sẽ được xả hết cùng một lúc. Mô-tơ tĩnh điện của Franklin tuy mạnh nhưng thiếu nguồn năng lượng ngoài một công nhân cọ xát một quả bóng lưu huỳnh để sạc bình Leyden. Chỉ định một công nhân để quay xiên bằng tay là phương pháp đơn giản và ít tốn kém hơn. Một lần nữa, không giống như hơi nước, điện thiếu các ứng dụng rõ ràng, tuy nhiên nó bí ẩn và hấp dẫn. Với đủ trang bị - da mèo, hồ phách và bình Leyden gắn với khe đánh lửa - bạn có thể sử dụng nó để thắp nến. Một số ít đã làm vậy, lại một mẹo giải trí khác, nhưng hầu hết vẫn tiếp tục dùng lửa từ lò sưởi hoặc đánh lửa bằng đá lửa và thép.

Bước đột phá lớn đầu tiên đối với việc khai thác điện để lấy năng lượng xảy ra vào 1800, một thập niên sau khi Franklin qua đời. Nó xuất phát từ những khám phá khó hiểu của một bác sĩ phẫu thuật và nhà sinh lý học người Ý làm việc tại Học viện Khoa học ở Bologna, Luigi Galvani, người đang nghiên cứu tác động của điện lên cơ bắp của động vật. Không ai biết đi đâu gì khiến cơ bắp co rút. Một số suy đoán cho rằng động lực là điện, nhưng thật khó để hiểu làm thế nào điện có thể hoạt động trong một môi trường dẫn có muối như cơ bắp. Galvani tự hỏi liệu các dây thần kinh

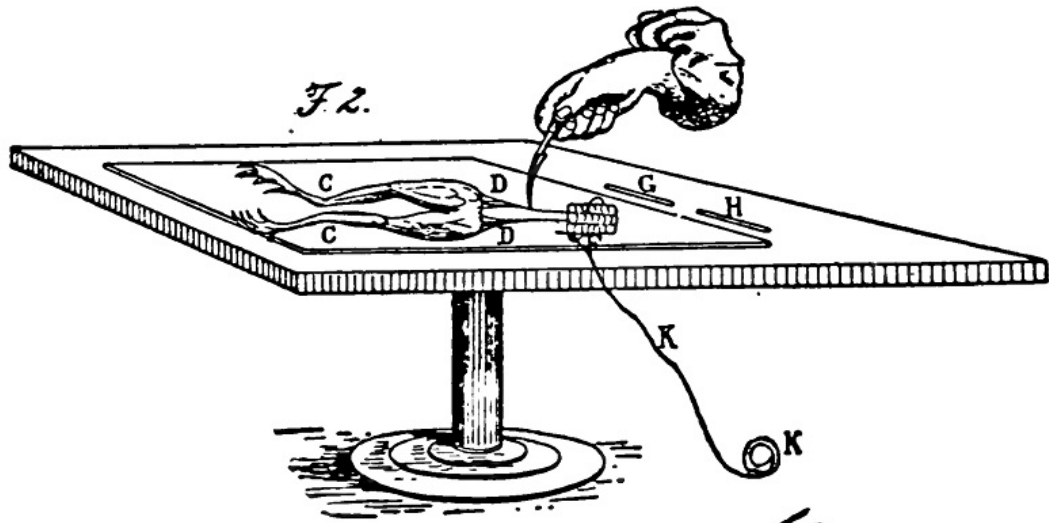
có thể mang điện tích không, với mô mỡ của chúng bằng cách nào đó cách ly điện khỏi môi trường ẩm ướt.

Vợ của Galvani, Lucia Galeazzi, là trợ lý của ông. Lucia là con gái của vị giáo sư dạy vật lý và giải phẫu học cho Galvani, người qua đời năm 1775 và để ông ng ồi thay vị trí trống đó tại Học viện Khoa học. Khoảng hai tháng từ khi bắt đầu các nghiên cứu về điện, vào ngày 26 tháng 1 năm 1781, trong phòng thí nghiệm mà ông tự duy trì ở nhà, Galvani đã mổ một con ếch và lột da chân của nó để đầu của các dây thần kinh trung ương của nó lộ ra trên bàn mổ. Để tạo ra điện tích, Galvani đã sử dụng Dollond, một cỗ máy có thiết kế mới nhất sản xuất tại Anh. Tay quay trên máy Dollond sẽ quay đĩa thủy tinh lớn ma sát với miếng đệm len ở đầu của những thanh sắt được nối lại. Những thanh sắt mang điện tích được tạo ra qua tiếp điểm đến một cực dẫn mà từ đó dòng điện có thể truyền đi.

Galvani đã thử nhiều thí nghiệm điện với chân ếch trong những tháng trước. Lần này, cũng như các lần trước, ông đang chuẩn bị kết nối dây thần kinh trung tâm đuôi ở chân đến máy Dollond, như các nhà thí nghiệm đã làm trong nhiều năm. Một người trợ lý quay máy, bắt đầu dẫn tia lửa từ nó tới cực dẫn. Trước đây, chân ếch đã phản ứng khi người thí nghiệm dí một sợi dây từ máy Dollond vào dây thần kinh của chân ếch.



Máy điện Dollond của Galvani.
Phần tay ở phía trên bên phải minh họa cho cách tạo tia điện.



Đức Luigi Galvani

Một trợ lý “nhẹ nhàng chạm mũi dao mổ vào các dây thần kinh đùi trung gian của con ếch này.” Các chữ ký bên dưới sơ đồ là của Galvani.

Tuy nhiên lần này, *trước khi* Galvani hoàn thành kết nối, ông viết, “một trong những người đang hỗ trợ tôi nhẹ nhàng chạm mũi dao mổ vào các dây thần kinh đùi trung gian của con ếch này. Ngay lập tức tất cả các cơ bắp tứ chi [của con ếch] co lại... một cách không kiểm soát.”^[6]

Chân ếch đã co giật mà *không có bất kỳ kết nối điện trực tiếp* nào với máy Dollond. Những sự kiện bất ngờ và có vẻ ngoài lờn như vậy thường là cách các khám phá khoa học được ra đời. Chính bản thân Galvani cũng bỏ qua phản ứng bất ngờ này. Ông lúc đó đang phân tâm, ông nhớ lại, “cuốn theo dòng suy tưởng... và bản khoản về thứ gì đó hoàn toàn khác.” Người nhận thấy sự kiện bất thường này là vợ ông. Ngay khi Galvani bắt kịp được những gì Lucia đã thấy, ông nhận ra ý nghĩa có tính đột phá của nó.

Trong những tháng năm tiếp theo, Luigi Galvani đã đào sâu nghiên cứu khám phá này một cách tỉ mỉ, sử dụng máy Dollond và bình Leyden - “điện nhân tạo,” như tên gọi thời điểm đó - cũng như “điện tự nhiên” của bầu trời bão tố như Franklin. Ông đã công bố một nghiên cứu đầy đủ bằng tiếng Latin vào năm 1791: *Commentary on the Effects of Artificial Electricity on*

Muscular Motion (Lời bình về tác dụng của điện nhân tạo đối với chuyển động cơ bắp, gọi tắt là Lời bình).

Nhà khoa học tự nhiên người Ý Alessandro Volta đọc cuốn *Lời bình* vào tháng 3 năm 1792. Là một người gốc Como, ở phía tây nam của hồ cùng tên, Volta dạy vật lý tại Đại học Pavia. Ông cũng bỏ thời gian nghiên cứu tĩnh điện và phát minh ra một cách cải tiến để tạo ra nó: một thiết bị đơn giản gọi là bàn khởi điện. Trong khoảng thời gian hai năm khi ông còn nghiên cứu về các loại khí, Volta đã phát hiện ra khí mê-tan, lần đầu tiên thu thập nó từ một đầm lầy ven hồ Maggiore. Những khám phá và phát minh này khiến ông nổi danh khắp châu Âu. Hiệp hội Hoàng gia London đã bầu ông làm thành viên vào năm 1791.

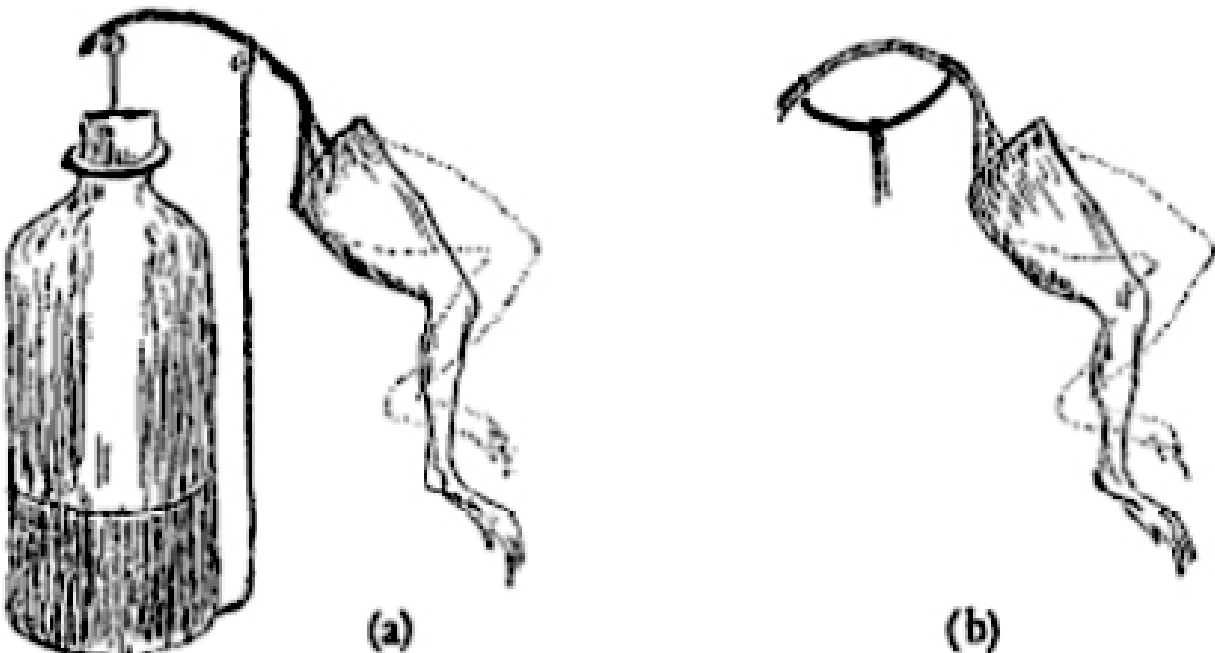
Volta phản hồi báo cáo của Galvani năm 1792 với sự nhiệt tình và chuẩn bị làm việc để tạo dựng lại thí nghiệm của người đồng hương.^[7] Đến tháng 4, ông bắt đầu có sự hoài nghi. Đang cố gắng tái tạo một trong những thí nghiệm của Galvani, kết nối lưng và chân của một con ếch sống với một dây dẫn kim loại, ông phát hiện ra mình cần hai kim loại *khác nhau* tiếp xúc với nhau (“một chìa khóa, một đồng xu... bằng hai kim loại khác nhau như thiếc hoặc chì”^[8]) để làm chân ếch co rút. Ông suy ngẫm nhiều cách giải thích khác nhau, đấu tranh với niềm tin được chấp nhận rằng động vật tạo ra một loại điện tích đặc biệt trong cơ bắp của chúng và truyền nó thông qua các dây thần kinh. Dòng “điện động vật” được cho là khác biệt với tĩnh điện hoặc sét và tồn tại duy nhất trong mỗi động vật. Galvani tin thí nghiệm của ông đã kích thích điện động vật chứ không phải thứ điện thông thường, không quan trọng.

Volta nghi ngờ tuyên bố của Galvani: Nếu vậy, tại sao chân một con thú sống lại chỉ phản ứng khi liên kết cột sống với cơ bắp với một dây dẫn lưỡng kim? Tại sao không phải là một dây dẫn chỉ làm bằng một kim loại? Volta nghi ngờ rằng điện tích thể hiện qua phản ứng của con ếch không phải đến từ ếch mà từ sự tiếp xúc giữa hai kim loại khác nhau. Đây là một kết luận khác hẳn so với lý thuyết điện động vật và thách thức tính chính xác của nó.

Để xác nhận sự nghi ngờ của mình, Volta đã làm một thí nghiệm khác. Ông chuẩn bị một chân ếch với một đoạn dài dây thần kinh kéo ra khỏi bắp đùi. Dây thần kinh để trần nhưng không chạm vào bắp đùi, sau đó ông kẹp hai đầu dây từ một bình Leyden tích điện yếu. Các cơ chân có co lại. Dòng

điện từ bình Leyden kích thích các cơ chân mặc dù nó chỉ được truyền qua dây thần kinh. Đối với Volta, điều đó có nghĩa là dòng điện không bắt nguồn từ cơ bắp, như lý thuyết điện động vật đề xuất.

Sau đó, Volta đã thực hiện bước đột phá quyết định: ông chuẩn bị một chân ếch khác với một dây thần kinh đuôi lộ ra tương tự, nhưng thay vì kết nối dây thần kinh với một bình Leyden, ông kẹp một vòng cung gồm hai mảnh kim loại khác nhau, một bằng thiếc và một bằng đồng. “Ngay lập tức, toàn bộ chi sẽ bị kích thích thành những cơn co giật và đá lung tung,” ông viết, “mặc dù chưa chạm vào chi, và không thể tin được rằng điều đó có thể xảy ra nhờ chất lỏng điện, thứ chỉ lưu chuyển giữa... hai phần liên kết của dây thần kinh.”^[9]



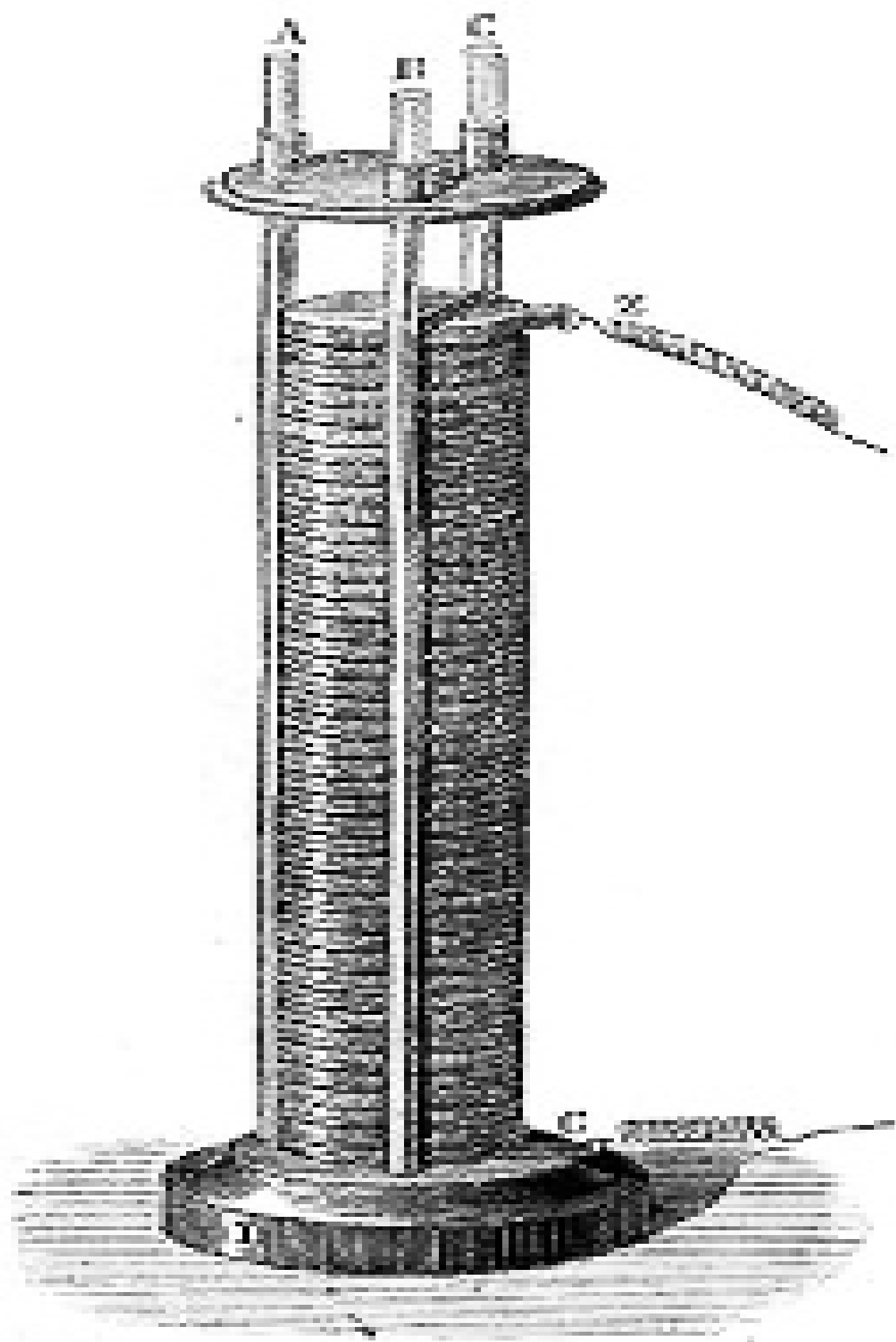
Các thí nghiệm “chỉ với dây thần kinh” của Volta: (a) với bình Leyden, (b) với dây dẫn lưỡng kim.

Nếu ông có thể làm cho chân ếch nhảy lên bằng cách gắn một dây dẫn lưỡng kim, Volta kết luận, “thì chắc chắn không có lý do gì để cho rằng một nguồn điện tự nhiên hay điện hữu cơ đang tồn tại ở đây.”^[10]

Volta đủ rộng lượng, hoặc đủ nhạy cảm về mặt chính kiến khoa học để không cố gắng đè bẹp Galvani hoàn toàn. Thay vào đó, ông nhất mực ca ngợi đồng nghiệp: “Khám phá tuyệt vời của Galvani về điện động vật hoàn chỉnh,” ông tuyên bố, “vẫn vững chắc và ổn định. Tuy nhiên, nó chỉ giới hạn ở một số hiện tượng, và gần như tất cả các giả định và giải thích của

ông ấy thì không hề vững chắc.”^[11] Volta tiếp tục chứng minh rằng thiết bị tạo ra điện không cần thành phần là mô động vật.

Khoảng thời gian xen giữa báo cáo của Galvani năm 1792 và phản hồi cuối cùng của Volta là nhiều năm tranh luận trên khắp giới khoa học châu Âu trải dài từ các thí nghiệm tiếp theo và vô số báo cáo. Napoléon xâm lược Ý vào năm 1796 và yêu cầu lời thề trung thành của giới quan chức chính phủ, bao gồm cả Galvani. Nhà vật lý từ chối vì lời thề sẽ cố kết ông với chủ nghĩa vô thần, và ông là một tín đồ Ki-tô giáo sùng đạo. Kết quả là ông bị tước mất các dự án nghiên cứu và thu nhập của mình và chết trong nghèo khó vào năm 1798. Volta thì chấp nhận thề trung thành với Napoléon và được tiếp tục nghiên cứu của mình. Năm 1799, ông đã phát minh ra công cụ phản bác tối thượng cho riêng mình. Ông đã giới thiệu nó với thế giới trong một lá thư gửi Hiệp hội Hoàng gia London vào ngày 20 tháng 3 năm 1800.



Cọc Volta

Volta gọi thiết bị mới của mình là *pila* - pile/cọc. Nó là các đĩa kim loại - bằng đồng hoặc bạc, thiếc hoặc kẽm xếp chồng lên nhau, ngăn cách bằng bìa cứng thấm dấm nước muối. Không dùng động vật, cọc Volta đã tạo ra điện tích. Nó có thể tạo ra điện liên tục chứ không phải các tia chớp riêng lẻ.

Volta đã phát minh ra vật mà bây giờ chúng ta gọi là pin, máy phát điện hóa của điện tích. Lần đầu tiên, một chiếc máy có thể tạo ra dòng điện liên tục. Thứ sức mạnh thiên nhiên khó nắm bắt và vô hình đó cuối cùng đã bị con người chế ngự.

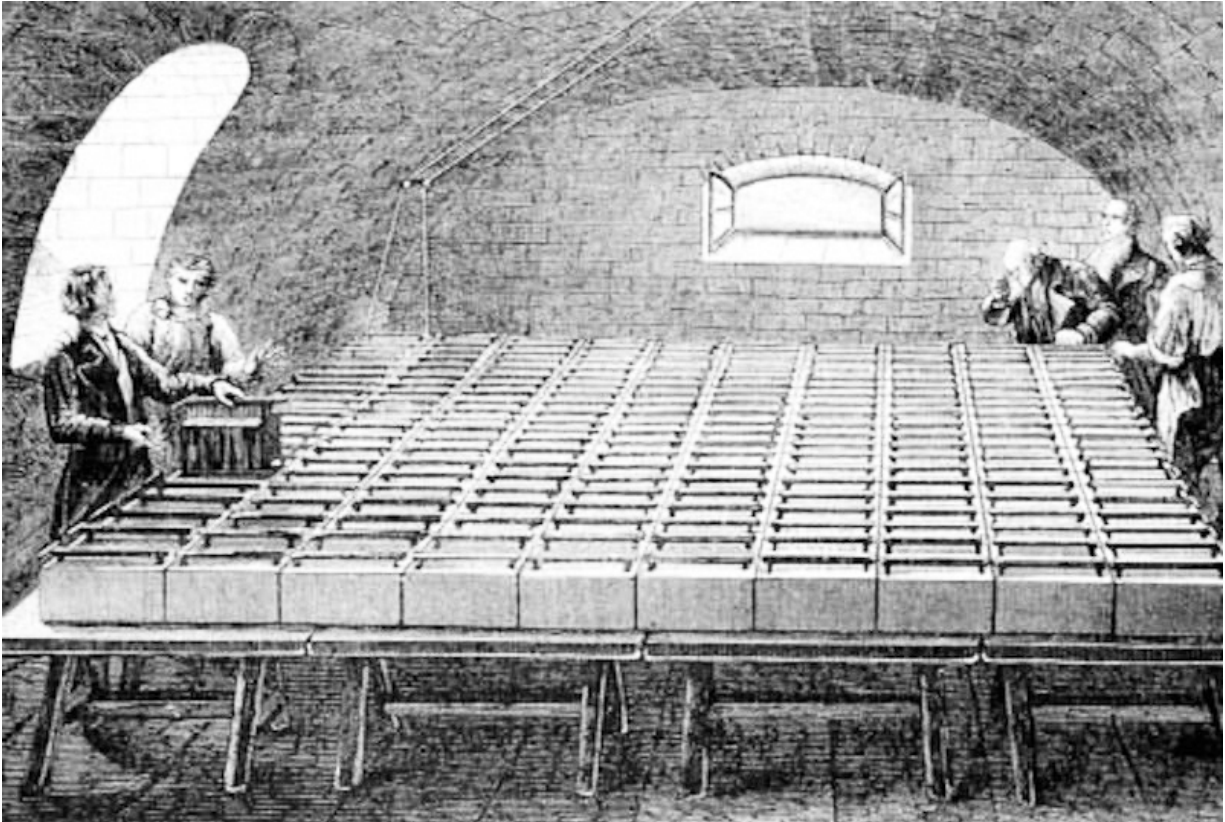
Trong thập niên tiếp theo, pin đã được cải thiện. Cọc Volta có xu hướng mất năng lượng khi các miếng đệm bìa cứng bị khô. Vì vậy, pin được cấu tạo từ các hộp gỗ chống thấm bằng nhựa thông có chứa dung dịch điện phân - acid loãng có tác dụng tốt hơn nước mặn và sớm thay thế nó - với các tấm kim loại đặt thẳng vào dung môi. Càng nhiều các “tế bào” này thì pin càng mạnh. Với pin lớn, có thể làm nóng dây tốt đến mức phát sáng và thậm chí tan chảy cả kim cương. Humphry Davy sử dụng pin của 2.000 tấm pin để biểu diễn ánh sáng rõ màu xanh trắng mãnh liệt của hồ quang điện tại một trong những bài giảng công khai của ông tại Viện Hoàng gia Anh năm 1809.

Một nhân chứng trong thí nghiệm của Davy, đã mô tả cách thức “tia điện và ánh sáng trong đó dữ dội đến mức có thể sánh với Mặt trời, xuyên qua không khí thành dòng, và phóng điện qua không khí bị đốt nóng với gần ba inch chiều dài và có vẻ đẹp rực rỡ choáng váng người xem.”^[12]

Ánh sáng hồ quang carbon quá sáng và nóng để sử dụng trong hộ gia đình, sẽ trở thành quan trọng trong việc chiếu sáng công nghiệp, hải đăng, đường phố và cửa hàng trong những thập niên tới. Lại kỳ thay, không phải Pin Volta, cũng không phải đèn hồ quang Davy sẽ thúc đẩy một khám phá khoa học xa hơn trong hai mươi năm tới - như thế để nắm bắt được sự mới lạ của dòng điện là rất mất thời gian.

Khám phá xa hơn này chính là sự liên hệ giữa điện và từ ở mức độ cơ bản đến mức hai hiện tượng đó sẽ mãi mãi được coi là một thể thống nhất: *điện từ*. Nhược điểm của pin ngày nay - mật độ năng lượng thấp và dung lượng hạn chế - cũng là những thiếu sót tương tự của pin vào năm 1810, cũng chưa có bất kỳ giải pháp công nghệ thay thế nào trong hầu hết thế kỷ

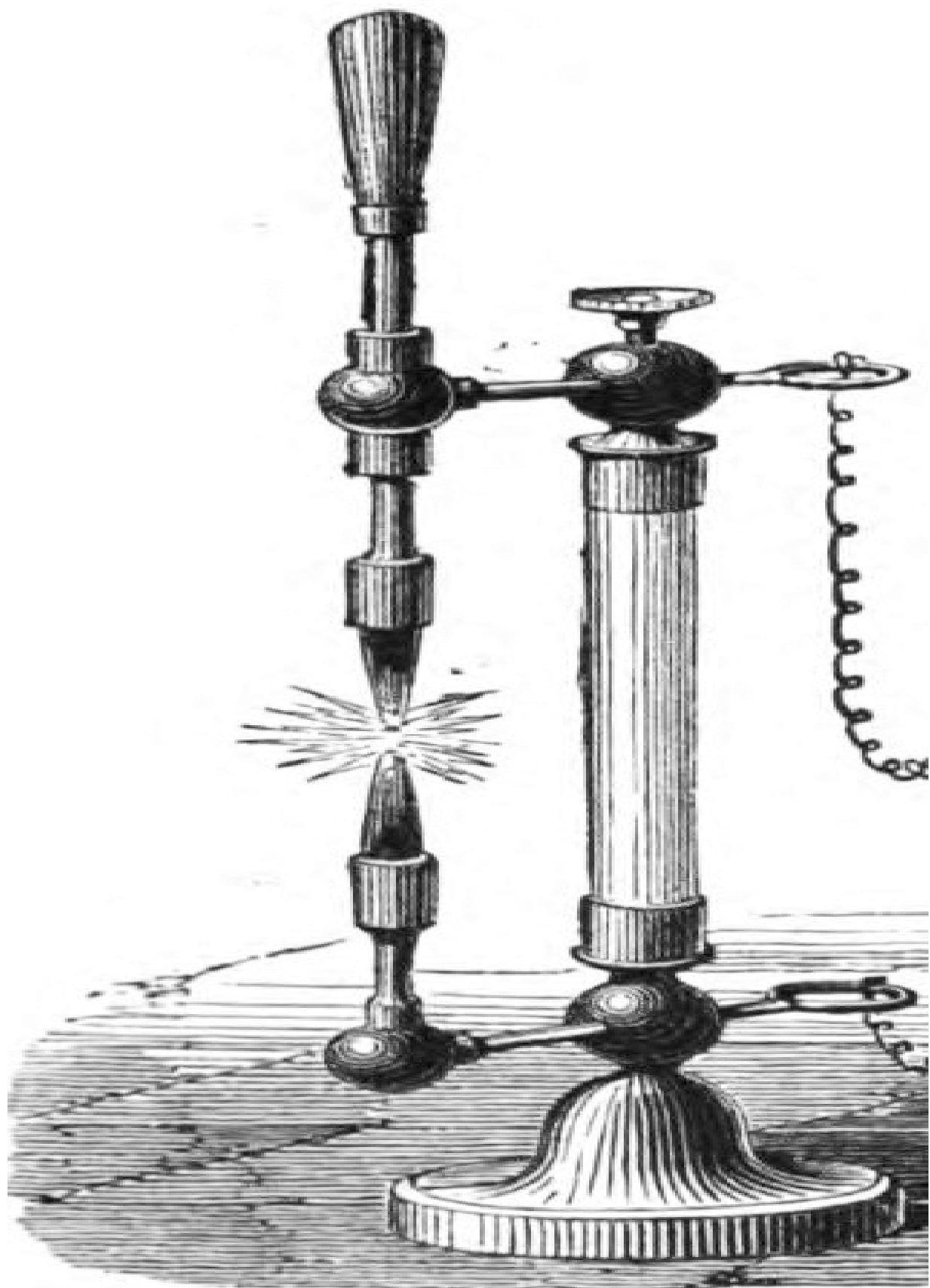
19 để tạo ra điện. Kiến thức về điện từ cuối cùng đã mở đường cho năng lượng điện của thế giới văn minh, nơi mà nguồn điện có sẵn gần như không giới hạn, có thể được tiếp cận một cách sạch sẽ và hiệu quả trong gia đình và nhà máy, truyền qua các thành phố và châu lục.



Pin Davy 2.000 tấm được lắp dưới tầng hầm của Viện Hoàng gia.

Khám phá lịch sử của nhà vật lý người Đan Mạch Hans Christian Oersted về điện từ trường từ lâu được cho là do một tai nạn đơn thuần, như thể Oersted được sung rơi đúng miệng vậy. Về định nghĩa, tất cả các khám phá bản chất một phần là do tình cờ, nhưng những người thực hiện hiếm khi không sẵn sàng đón nhận chúng. Giống như hầu hết các nhà khoa học tự nhiên khác ở châu Âu, Oersted đã phản hồi các báo cáo về cọc Volta bằng cách tự mình chế tạo nó để kiểm chứng. Ông đã sử dụng nó để thử nghiệm các tác động khác nhau của acid và kiềm. Ông đã được học các yếu tố hóa học trong hiệu thuốc của bố ở một thị trấn nhỏ của Đan Mạch trên đảo Langeland, nơi ông sinh năm 1777, khoảng 160 km về phía tây nam Copenhagen. Đến năm 1800, sau khi theo học tại Đại học Copenhagen cùng người anh trai, Anders, ông đã có bằng tiến sĩ vật lý và giảng dạy tại

trường đại học. Cả hai anh em đều có tài. Anders thì học luật, trở thành thủ tướng của Đan Mạch trong hai năm của thập niên 1850.



Một dụng cụ thí nghiệm đơn giản mô phỏng hồ quang carbon thô sơ của Davy.

Các thí nghiệm của Oersted với acid và kim loại đã khiến ông phát hiện ra các ưu điểm của acid làm chất điện ly cho pin đồng thời với Humphry Davy vào năm 1803. Đến năm 1806, ông được bổ nhiệm làm giáo sư vật lý tại Copenhagen. Từ lâu đã bị cuốn hút bởi ý tưởng lãng mạn về sự thống nhất của thiên nhiên, ông tin bộ môn vật lý tự thể hiện bản thân nó như một sự thống nhất cơ bản giữa các thế lực tự nhiên vĩ đại như điện năng, từ tính, nhiệt năng và ánh sáng. Ông đã chiêm nghiệm vấn đề này trong một bài luận lý thuyết ông viết khi đang đi du lịch nước ngoài và xuất bản ở Paris vào năm 1813, “Các nghiên cứu về đặc tính của các lực hóa học và điện.”^[13] Đó cũng là lần đầu tiên ông đặt vấn đề rằng có thể có một liên kết liên tục giữa điện và từ tính.

“Nhân loại luôn có xu hướng so sánh lực từ với lực điện. Sự tương đồng lớn giữa lực đẩy và lực hút của từ tính và của điện cùng sự giống nhau giữa các định luật của chúng nhất thiết phải dẫn đến sự so sánh này.” Nhưng có một vấn đề với việc so sánh, Oersted phỏng đoán: điện dường như tác động lên vật liệu từ tính mà không phản ứng với từ trường của nó, điều này đã khiến các nhà lý thuyết khác cho rằng điện và từ tính là riêng biệt, là hai lực độc lập. Thí nghiệm sẽ phải giải quyết vấn đề này, ông kết luận, nhưng các lực đan xen như vậy sẽ khó để tách riêng.

Thí nghiệm Oersted chuẩn bị hóa ra lại đơn giản vô cùng. Nhưng vì ông đã lường trước được khó khăn, ông đã để chuyện giảng dạy và công việc trì hoãn nỗ lực này đến nửa thập niên.^[14] Ông đã dành thời gian để phát minh ra kíp điện để kích nổ, một sợi dây mỏng được nung phát sáng bằng điện. Ông tiến hành một cuộc thám hiểm theo lệnh của nhà vua Đan Mạch đến đảo Bornholm ở Đan Mạch. Ông đã phát minh ra đèn hơi thủy ngân với một trong những người thám hiểm đồng hành, luật sư Lauritz Esmarch, và cùng với một đồng nghiệp, một người bạn cũ, ông thay thế gỗ bằng đồng để làm máng của pin lỏng, làm tăng đáng kể nguồn điện đầu ra.

Cuối cùng, vào mùa xuân năm 1820, khi đang giảng bài cho sinh viên, Oersted bỗng nhớ lại niềm tin mãnh liệt năm xưa của mình về đặc tính của lực điện và từ trường. Lần này ông “quyết tâm thử thách luận điểm của tôi bằng thí nghiệm.”^[15]

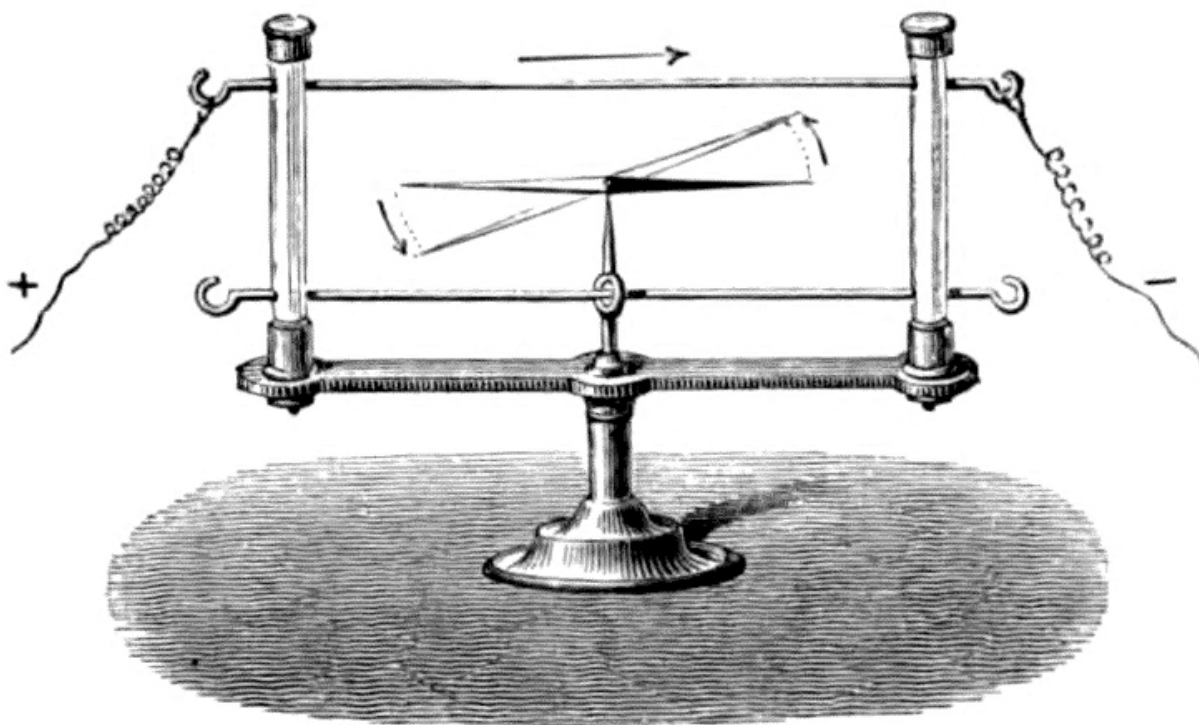
Oersted chuẩn bị thí nghiệm vào một ngày ông có lớp buổi tối. Oersted vốn định thử nó trước khi lên lớp. Một điều gì đó làm gián đoạn và ông đã

quyết định trì hoãn. Trong suốt bài giảng, tâm trí ông vẫn tập trung vào thí nghiệm, ông nhận ra nó có khả năng thành công. Nhà vật lý lập tức ngắt bài giảng rồi chạy về phòng thí nghiệm. Đó là, một sử gia khoa học nhận xét, “trường hợp đầu tiên được biết đến trong lịch sử khoa học khi một khám phá khoa học có tính cách mạng đã sinh ra trước một đám đông sinh viên trong một bài giảng trên lớp.”^[16]

Thí nghiệm này có thể dễ dàng thất bại. Nó bao gồm một la bàn từ tính, một dây pin và dây kết nối với pin để dẫn điện tích - nghe có vẻ đơn giản. Nhưng Oersted tin rằng dây cần phải được làm nóng đến mức phát sáng để đạt hiệu quả tối đa, vì vậy ông đã sử dụng cái mà ông gọi là “dây bạch kim thượng hạng” làm dây dẫn để thêm ánh sáng và nhiệt cho điện để xem các lực đó có đồng thời tác động đến kim la bàn hay không. Ông chưa được biết rằng một sợi dây nặng hơn sẽ tạo ra từ trường mạnh hơn. Sợi dây mỏng của ông đã hạn chế tác động.

Tuy nhiên chân lý khoa học vẫn tìm đến với ông. Oersted chuẩn bị cho sinh viên của mình bằng cách nhắc họ rằng dòng điện có thể làm cho một chiếc kim la bàn xoay. Ông đề xuất rằng một cây kim từ tính đặt gần dây điện có thể hoạt động tương tự. Sau khi sắp đặt thiết bị thí nghiệm, ông đóng mạch. Dòng điện chạy qua dây bạch kim và kim la bàn bị lệch.^[17]

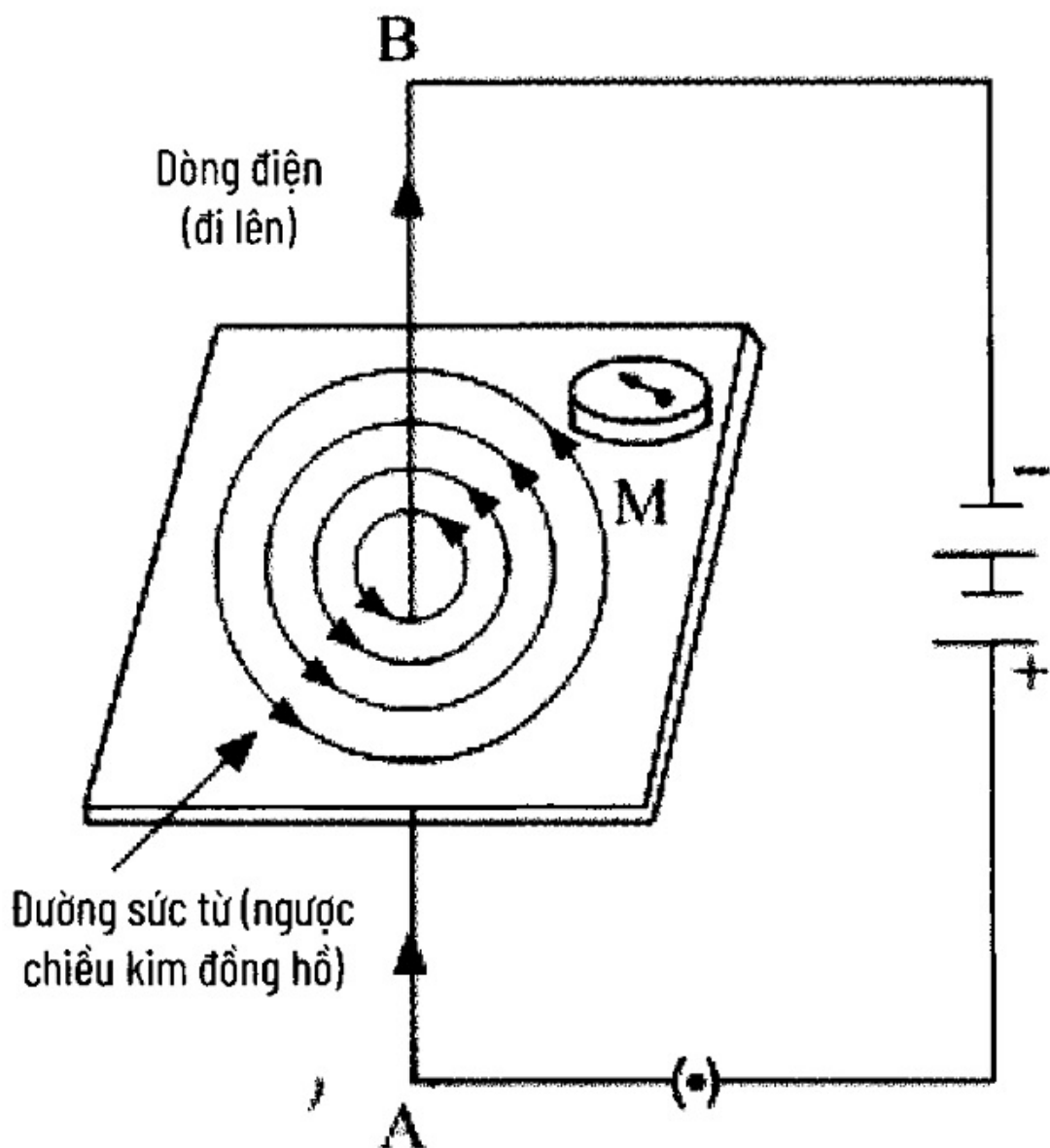
Mặc dù rất phấn khích, Oersted nghĩ rằng thí nghiệm này rất táo bạo nhưng vẫn chưa đủ sức thuyết phục - chí ít là với cộng đồng khoa học rộng lớn hơn sẽ phán xét nó. Thiết bị này vẫn “yếu,” ông viết, hiệu ứng là “không thể chối cãi” nhưng “mơ hồ.”^[18] Ông quyết định mình cần pin mạnh hơn. Trong vài tháng tiếp theo, Oersted và người bạn Esmarch đã chế tạo một pin gồm 20 máng đồng với các tấm kẽm và đồng được treo trong dung dịch acid sunfuric và acid nitric loãng. Tháng 7 năm đó, với Esmarch và một người bạn khác với tư cách là nhân chứng, Oersted đã thử lại lần nữa với pin lớn hơn và dây dẫn nặng hơn.



Thí nghiệm lịch sử Oersted chứng minh điện trường làm chệch hướng một la bàn từ tính.

“Một hiệu ứng rất mạnh quan sát được ngay lập tức,” ông viết trong tự truyện của mình. Với hơn 60 thí nghiệm, Oersted phát hiện ra rằng loại dây dẫn không phải là vấn đề bạch kim, vàng, bạc, đồng thau, sắt, ruy băng chì và thiếc, và thậm chí là một máng thủy ngân, đều thu được “các thành công tương đương nhau.” Dây dẫn nhiễm điện sẽ tác động đến kim la bàn ngay cả khi được ngăn cách bằng thủy tinh, kim loại, gỗ, pơfia, hay gốm, ngay cả khi “la bàn được đặt trong hộp đồng đổ đầy nước.” Kim la bàn bằng đồng, thủy tinh, hay gỗ sơn mài không có phản ứng. Nhưng đáng chú ý là nếu ông căng dây nhiễm điện *dưới* kim la bàn thay vì ở trên nó, các hiệu ứng vẫn xảy ra như cũ, nhưng hướng kim xoay sẽ đảo ngược.

Phát hiện đó đã cho Oersted định luật mà ông đang tìm kiếm, bởi vì sự đảo ngược vị trí của kim la bàn chỉ có thể có nghĩa là từ trường mà dòng điện tạo ra lấp đầy không gian liên kết dây dẫn với dạng hình tròn bao quanh nó.



Bằng cách đặt một la bàn bên trên và bên dưới một dây điện, Oersted đã phát hiện ra dạng hình tròn của từ trường bao quanh dây.

Vào tháng 7 năm 1820, Oersted đã công bố một bản tóm tắt ngắn gọn về các thí nghiệm của mình trong báo cáo dài bốn trang bằng tiếng Latin mà ông đã in và gửi cho bạn bè cùng những nhà thí nghiệm trên khắp châu Âu. Báo cáo này cho thấy ông là người tiên phong khám phá. Sau đó, ông đã chuẩn bị một báo cáo dài hơn bằng tiếng Pháp kể chi tiết nhiều thí nghiệm của ông, được công bố ở Paris vào tháng 9. Trong vòng ba năm, một nhà ngoại giao Nga ở Saint Petersburg kiêm nhà thí nghiệm nghiệp dư, Nam tước Pavel L'vovitch Schilling, đã bắt đầu thiết kế hệ thống điện báo

dựa trên những khám phá của Oersted. Schilling đã trình diễn hệ thống này trước Sa hoàng Alexander I trước khi ngài băng hà vào năm 1825. Trong thập niên 1830, chính phủ Nga đã lên kế hoạch liên kết điện báo giữa pháo đài trên đảo Kronstadt án ngữ lối vào vịnh Neva với cung điện ở Saint Petersburg, nhưng Schilling đã qua đời vào năm 1837 trước khi hệ thống này có thể được thương mại hóa.

Bên cạnh hiện tượng điện từ và sự hiện diện của một từ trường mở rộng xung quanh một dây dẫn mang điện, một khám phá cơ bản nữa là cần thiết trước khi các kỹ sư và nhà phát minh có thể bắt đầu tìm cách ứng dụng điện cho thế giới văn minh. Khám phá đó là thành quả của một nhà hóa học người Anh phi thường tên là Michael Faraday, một người được bảo hộ bởi Humphry Davy tại Viện Hoàng gia ở London.

Faraday sinh ra trong nghèo khó ở London vào năm 1791, cha ông làm nghề thợ rèn nay đã ốm yếu. Chỉ với vài năm đi học, ông bắt đầu làm việc ở tuổi mười ba, làm tay sai vặt cho một người bán sách và thợ đóng sách, người nhận ông vào học nghề ngay năm sau. “Có rất nhiều sách ở đó, và tôi say mê đọc chúng,” ông kể sau này. Ông cũng bắt đầu nghiên cứu khoa học mới về điện trong các trang của *Encyclopedia Britannica* (Bách khoa toàn thư Anh) và chú thích một tác phẩm gồm bốn tập về hóa học. Năm 1810, ông gia nhập một hội diễn thuyết được tổ chức bởi một nhóm người trẻ ở London về phương pháp tự học. Một người bạn mới quen có biết chữ trong hội cam kết dành ra hai giờ một tuần để giúp Faraday cải thiện ngữ pháp và đánh vần, họ tiếp tục giúp nhau trong bảy năm trời. Một người bạn khác làm nhân viên ngân hàng, cùng chia sẻ sự nhiệt tình của Faraday về hóa học, đã thảo luận về những khám phá khoa học mới và mày mò giải quyết các vấn đề hóa học với ông.

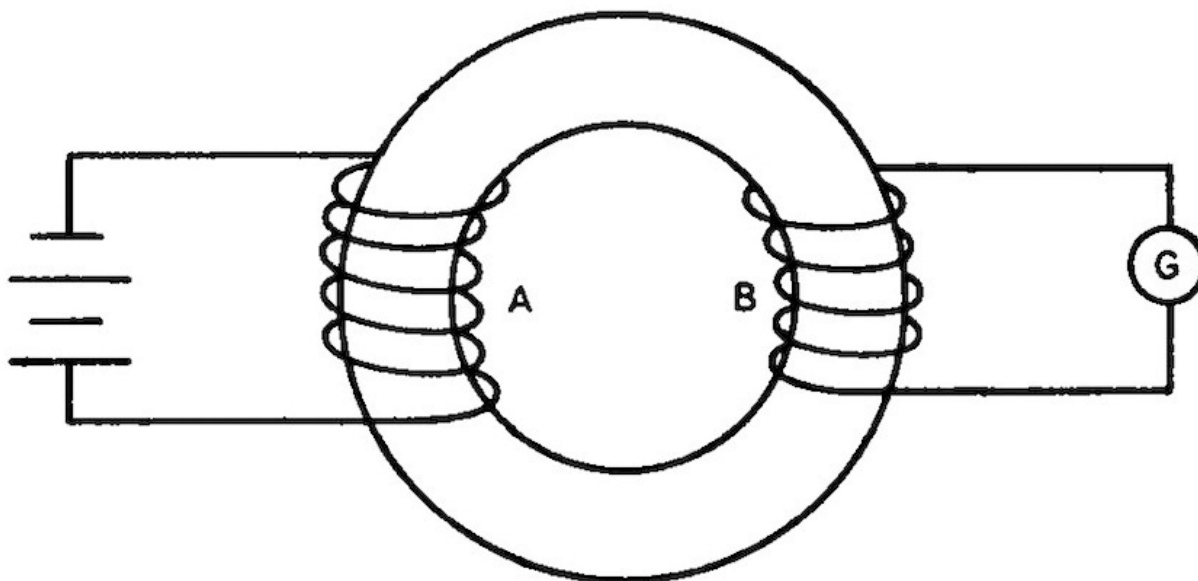
Khi việc học đóng sách của Faraday kết thúc vào năm 1812, anh phải đối mặt với thực tế rằng công việc đóng sách toàn thời gian sẽ chiếm hết thời gian dành cho học tập. Thời điểm đó, ông đã bắt đầu tham dự các bài giảng mở tại Viện Hoàng gia, đặc biệt là của Humphry Davy. Vào tháng 10 năm 1813, Davy bị thương ở mắt trong một thí nghiệm khi một hỗn hợp nổ tung bắn vào mắt ông. Một người bạn từng tận mắt thấy chữ viết rất đẹp của Faraday trong cửa hàng sách đã giới thiệu ông với Davy. Công việc thư ký ngắn hạn này đã mở đường cho chàng trai trẻ thu hút sự chú ý của nhà khoa học vĩ đại cho công việc phòng thí nghiệm. Davy sắp xếp thuê

Faraday với mức lương một đồng guinea một tuần cộng với tiền nần, nhiên liệu và một căn hộ nhỏ trong gác mái của viện. Faraday cũng xin được cấp tạp dề và đặc quyền ra vào phòng thí nghiệm. Thỏa thuận được chấp nhận.^[19]

Trong hai thập niên tiếp theo, Faraday chứng minh bản thân là một nhà thực nghiệm có kỹ năng và tính sáng tạo luôn tăng tiến. Ông trở thành người quản lý của Viện Hoàng gia trong khi vẫn khám phá hóa học và sau đó là điện từ. Phát hiện của Oersted về việc một dây nhiễm điện tạo ra từ trường xung quanh nó đã thu hút Faraday tìm kiếm hiện tượng ngược lại: điện được sinh ra trong một dây dẫn quấn quanh một nam châm. Khi thí nghiệm đó thất bại - ông là một trong nhiều người đã thử nó - Faraday đã bắt đầu một loạt các thí nghiệm, thử mọi cách sắp xếp dây và nam châm có thể tưởng tượng được.

Năm 1831, Faraday lần đầu tiên nghe nói về nam châm điện mạnh mẽ mà hai đối thủ cạnh tranh đáng gờm, một trong số họ là nhà nghiên cứu người Mỹ, Joseph Henry, đã chế tạo bằng cách cuộn hàng trăm vòng dây cách điện xung quanh những lõi sắt mềm. Khi họ cho một dòng điện pin chạy qua cuộn dây, lõi sắt phản ứng như một nam châm thông thường to gấp nhiều lần kích thước của nó. Ngoại suy từ thí nghiệm này, Faraday dùng một chiếc nhẫn sắt giống hình một chiếc bánh rán lớn và bọc hai cuộn dây riêng biệt xung quanh hai nửa đối diện. Các đầu dây dẫn của một cuộn được gắn vào một cực pin, cuộn kia gắn vào một máy đo để đo dòng điện (gọi là *galvanometer* - điện kế, được đặt theo tên của Luigi Galvani để vinh danh ông).

Khi Faraday kết nối pin, kim điện kế có nhảy - nhưng sau đó dừng đưa qua lại và đứng yên. Khi ông ngắt pin, kim bị lệch một lần nữa theo hướng ngược lại, dao động và ổn định.



Sơ đồ thí nghiệm cảm ứng Faraday. Các vạch ngang bên trái chỉ pin; khoanh tròn bên phải với chữ G bên trong chỉ điện kế.

Joseph Henry đã nhận thấy hiệu ứng này trước đây. Tia lửa điện lóe lên khi ông ngắt pin, thứ mà ông gọi là “tia lửa điện từ nam châm. Nhưng bởi vì Henry đang tập trung tìm kiếm phương pháp tạo dòng điện ổn định, ông đã thất bại trong việc nghiên cứu sâu hơn.^[20]

Một lần nữa, vinh quang của người khám phá sẽ đến với kẻ không chỉ nhận thấy hiện tượng mà còn theo đuổi tác dụng phụ có vẻ tầm thường này đến cùng: Faraday có nhận ra, có chú ý, và kiên trì làm một loạt các thí nghiệm tiếp theo. “Trong một thí nghiệm,” sử gia khoa học Michael Schiffer viết, “ông nhận thấy kim [của điện kế] cũng bị lệch khi cuộn dây thứ hai được di chuyển về phía hoặc ra khỏi cuộn thứ nhất. Ngoài ra, Faraday nhận thấy khi đẩy một thanh nam châm vĩnh cửu vào một lỗ rỗng của cuộn dây, hoặc rút nó ra một cách nhanh chóng, kim điện kế sẽ nhảy. Trong các thí nghiệm tiếp sau đó với nam châm vĩnh cửu và các cuộn dây, ông đã thu được một kết quả nhất quán: chỉ khi nam châm di chuyển nhanh tương ứng với cuộn dây thì kim điện kế mới dịch chuyển.”^[21]

Giống như các đối thủ của mình, Faraday đang tìm kiếm một dòng điện ổn định tạo ra bởi từ tính. Ông tạm thời chưa công bố kết quả nghiên cứu của mình. Thay vào đó, ông mượn thiết kế của một máy thí nghiệm từ một nhà nghiên cứu người pháp và sử dụng nó để thí nghiệm. Thiết bị mà Faraday chế tạo bao gồm một đĩa đồng đường kính 30 cm gắn trên một trục bằng đồng giữa hai cực của một nam châm hình móng ngựa đủ mạnh

để nâng 13,6 kg. Một dây gắn vào trục đồng và một dây gắn vào một chổi quét ép lên đĩa đồng, nối mạch với điện kế. Khi Faraday quay bánh xe đồng qua từ trường từ tính, điện kế ghi nhận một dòng điện cảm ứng tiếp tục kéo dài chừng nào đĩa còn quay.

Vậy điện sản sinh từ tính, và từ tính thì tạo ra điện. Hai sức mạnh này thực sự là một thế lực hùng mạnh, vô hình: lực điện từ. Bằng chứng sâu sắc đó đã giúp cho Faraday dành được sự tôn trọng của thế giới khoa học. Nó cũng mở toang cánh cửa tạo ra điện tích ổn định, ở bất kỳ mức độ nào, mà không cần pin. Máy phát điện đĩa đồng Faraday là một nam châm đơn giản, ví dụ đầu tiên về một cơ chế sẽ trở nên phổ biến trong ô tô, và các máy móc khác, một cách để chuyển đổi cơ năng thành điện năng. Một cánh tay có thể thực hiện công việc đó, quay tay quay. Động cơ hơi nước cũng làm được. Thác nước cũng làm được.

NHỊP ĐỘ CỦA NƯỚC

Niagara, thác nước và sông, được đặt tên theo một từ của thổ dân Mohawk, *ohnyá-kara í*, nghĩa là “yết hầu của vùng đất [giữa các hồ].”^[1] Sông và thác di chuyển một lượng lớn nước trên vùng đất yết hầu này từ một trong các Đại Hồ, hồ Erie, đến một hồ khác, hồ Ontario, và từ đó đến vịnh Saint Lawrence và ra biển. Hồ Erie, ở độ cao 174 mét so với mực nước biển, cao hơn hồ Ontario 100 mét. Thác Niagara, trút nước từ độ cao 52 mét, chiếm khoảng một nửa độ dốc giữa hai hồ. Hồ Erie chứa gần 480 tỉ mét khối nước. Nếu hồ Erie không thường xuyên nhận mưa và tuyết, thì thác Niagara vẫn sẽ cần khoảng 100 năm để làm cạn nó, có nghĩa là có hơn bốn tỉ mét khối nước chảy qua thác hằng năm.

Nước đổ từ thác là nguồn năng lượng công nghiệp lâu đời nhất ngoài sức mạnh cơ bắp. Thác Niagara thu hút sự quan tâm thương mại từ những ngày đầu tiên, nhưng việc khai thác nó vượt xa khả năng của các kỹ sư đương thời. Nhà thám hiểm Franciscan Louis Hennepin đã đến thăm thác vào năm 1679 và mô tả nó trong một báo cáo như là “một vùng đất rộng lớn và có nhịp độ nước phi thường đổ xuống một cách đáng kinh ngạc khiến người ta sửng sò, đến mức khắp vũ trụ rộng lớn cũng khó có một kỳ quan thứ hai như vậy.”^[2] Có những thác cao hơn ở nơi khác trên thế giới, nhưng không có dòng chảy nào đáng tin cậy từ mùa này sang mùa khác đến vậy. Vùng Đại Hồ tạo thành nguồn chứa nước đổ vào Niagara, một khu vực rộng gần 230.000 km². Sự thay đổi theo mùa về mực nước hồ hiếm khi vượt quá nửa mét.^[3]



Thác Niagara năm 1679: tranh minh họa của Louis Hennepin trong *Khám phá mới về một quốc gia rất rộng lớn*.

Phía trên thác, nơi hồ Erie thu hẹp vào sông Niagara, những người định cư đầu tiên đã thiết lập hệ thống guồng nước dọc theo bờ sông hoặc trên các kênh nhỏ. Chúng hỗ trợ các công trình công cộng của các khu định cư tiên phong: xưởng cưa và cửa hàng thợ rèn, xưởng xay lúa mì, xưởng bện thùng, xưởng thuộc da, những ngôi nhà đầu tiên. Một người định cư đã phát quang một hòn đảo trên sông. Thả dê trên đảo, nó có tên là Đảo Dê. Đến thập niên 1830, dòng sông đã hỗ trợ một loạt các ngành công nghiệp khiếm tốn được xây dựng dọc ven bờ: một nhà máy đinh, một xưởng giấy, một xưởng bột mì, một xưởng cưa khác và một nhà máy len. Hai khách sạn, The Eagle và The Cataract, cung cấp 100 phòng cho người dân và du khách.^[4]

Năm 1841, hai kỹ sư người Mỹ đã tính toán năng lượng có thể thu được từ thác nước để quay vòng guồng nước ở mức 4,5 triệu mã lực. Công binh Lục quân Mỹ đã khảo sát Đại Hồ vào năm 1868, ước tính tổng năng

lượng của Niagara có thể đạt khoảng 6 triệu mã lực. Nhưng tạo một kênh dẫn nước thông qua thềm đá vôi cứng dày 24 mét của thác Niagara sẽ rất tốn kém, và đào hầm bên dưới đá vôi xuyên qua đá phiến mềm sẽ đòi hỏi phải lót đường hầm với nhiều lớp gạch cứng đắt tiền. Niagara cách Buffalo, thành phố gần nhất, 32 km, không có công nghệ trong tay để cung cấp năng lượng xa đến vậy. Cũng không có đội ngũ công nhân sống gần khu thác hẻo lánh. Trước thập niên cuối thế kỷ 19, thác Niagara là một động cơ tự nhiên hùng mạnh chưa được khởi động.

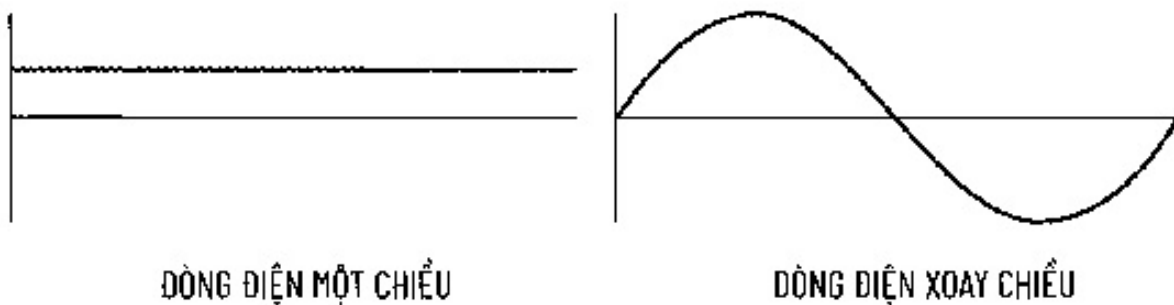
“Tất cả các máy móc để chuyển đổi động năng thành điện năng,” một giảng viên nói với Viện Hàn lâm Nghệ thuật London năm 1881, “đều được thành lập dựa trên khám phá vĩ đại về dòng điện cảm ứng của Faraday, xuất phát từ chuyển động tương đối của nam châm và một cuộn dây.”^[5] Thế nhưng những thí nghiệm ban đầu về điện từ của Michael Faraday không dẫn ngay đến ứng dụng thực tế. “Gần như tất cả những khám phá quan trọng đầu thông qua một giai đoạn của bỏ bê hoặc mất phương hướng,” Giáo sư W. Grylls Adams tiếp tục giải thích. “Hoặc là sự chú ý của công chúng đã bị chiếm lĩnh sẵn, hoặc những khám phá này đến vào thời điểm mà công chúng chưa sẵn sàng nên bị coi nhẹ.”^[6]

Đó cũng là những gì đã xảy ra với điện. Các ứng dụng gần như huyền diệu của điện đã giành được sự quan tâm của công chúng: điện báo của Samuel F. B. Morse (1837), điện thoại của Alexander Graham Bell (1876), máy ghi âm của Thomas Edison (1877) và đèn điện (1879). Các máy phát điện ma sát với bình Leyden và pin hóa học tiếp tục là nguồn điện chính cho đến cuối thế kỷ 19. Cả hai đều yếu, hạn chế và đắt tiền so với các sản phẩm từ sự phát triển của hơi nước, các động cơ hơi nước mạnh mẽ, cung cấp năng lượng cho các nhà máy, dâng nước, tàu thủy và vận chuyển hành khách hàng hóa. Trên một quy mô nhỏ hơn nhưng có tính bổ sung, ngựa di chuyển hàng hóa và hành khách trong thành phố và tạo ra năng lượng trực tiếp hoặc bằng cách quay máy xay trong trang trại. Nhiên liệu cần nhất cho nhu cầu sưởi ấm và cung cấp năng lượng cho máy móc là gỗ và than. 70% lượng tiêu thụ năng lượng của Mỹ là từ gỗ vào năm 1870, dịch chuyển thành 70% từ than vào năm 1900.^[7] Dầu hỏa là nhiên liệu chiếu sáng giá rẻ nhất là ở những nơi không có sẵn nguồn khí mỏ, và dầu mỏ tăng thị phần khi nhu cầu chiếu sáng và bôi trơn tăng trưởng.

Mặc dù hơi nước có tính cách mạng và là động lực chính của cách mạng công nghiệp, nó có những nhược điểm đáng kể. Vì đầu ra của hơi nước là chuyển động cơ học, nó sẽ có tính cục bộ. Không ai tìm được cách cung cấp nó ở khoảng cách xa ngoài sử dụng cáp, như với xe gấn cáp ở San Francisco và Pittsburgh, hoặc bằng khí nén. Điều đó thật bất tiện, cần tới hai giờ để khởi động động cơ hơi nước và một thợ xúc than thường xuyên để duy trì hoạt động - nghề thủ công hoặc doanh nghiệp nhỏ khó mà đáp ứng được về thời gian hoặc tài chính. Khói của động cơ rất hôi, và vì hơi nước là cục bộ, thứ không khí này khiến thành phố bị ô nhiễm nặng nề.

Nhưng nếu điện mới chỉ bắt đầu đi vào dịch vụ thương mại, Giáo sư Adams nói với đám khán giả ở London của mình, những khám phá như vậy vẫn có thể “vượt qua giai đoạn phát triển ngấm trong phòng thí nghiệm.”^[8] Các phòng thí nghiệm vào giữa thế kỷ 19 đã nghiên cứu một cách có hệ thống các tính chất của điện từ. Nghiên cứu đó song song với sự phát triển của máy phát điện và phiên bản ngược lại của nó: động cơ điện. Quay thiết bị với cơ năng từ một động cơ hơi nước hoặc guồng nước và nó tạo ra dòng điện. Dẫn điện vào thiết bị sẽ tạo ra cơ năng, quay các máy móc như khung dệt hoặc bánh xe điện.

Loại dòng điện nào cũng quan trọng. Pin tạo ra một dòng điện liên tục: điện một chiều (DC). Máy phát điện - những cuộn dây quay qua cực đối lập của một nam châm - tạo ra một dòng điện tích đảo chiều thường xuyên: điện xoay chiều (AC).



Hai loại dòng điện. Đường giữa biểu thị điện tích bằng 0, với dòng điện dương ở trên và dòng điện âm ở dưới.

Vì pin là nguồn điện duy nhất cho đến cuối thế kỷ 19, gần như mọi sự phát triển thương mại của thời đại đã hoạt động bằng điện một chiều điện

áp thấp mà pin tạo ra, giống như điện thoại di động và máy tính xách tay ngày nay. Theo lẽ đó, Thomas Edison đã theo đuổi việc sản xuất điện một chiều để cấp điện cho hệ thống chiếu sáng mà ông đang thiết kế. Thiếu kinh nghiệm với dòng điện xoay chiều, các kỹ sư đã hoài nghi về hệ thống điện xoay chiều. “Họ không thể làm cho nó an toàn,” một trong số họ đã tuyên bố trong một bài giảng mở vào cuối năm 1888, *sau khi* điện xoay chiều có mặt trên thị trường. “Họ không thể làm cho nó đáng tin cậy... Họ không thể làm cho đèn ổn định [tức là, phát sáng đều đặn, không nhấp nháy]. Họ không thể làm cho đèn có tuổi thọ dài. Họ không thể bán nó theo công tơ. Họ không thể làm cho nó chạy bằng động cơ.”^[9] Nhưng họ có thể, và họ đã làm được như vậy.

Dòng điện xoay chiều có một lợi thế lớn so với điện một chiều: nó có thể là dễ dàng chuyển đổi thành điện áp cao hơn hoặc thấp hơn. Điện áp, như áp lực nước, di chuyển điện tích. Cường độ dòng điện, giống như lượng nước, mang lại nhiều điện tích hơn. Hai đặc tính này tương tác nghịch đảo nhau. Dùng máy biến áp tăng điện áp thì lại làm giảm cường độ dòng điện ở đầu ra. Tăng điện áp lên cho phép dòng điện xoay chiều chạy trên dây có đường kính nhỏ hơn mà không gặp phải nhiều sự cản trở năng lượng.

Điện một chiều thì không như vậy. “Thời đó người ta hay nói thế này,” nhà phát minh người Mỹ William Stanley Jr. đã nhận xét về thời kỳ trước khi điện xoay chiều được giới thiệu như sau, “nếu muốn thắp sáng Đại lộ 5 từ Phố 14 đến Phố 59 [với dòng điện một chiều], các dây dẫn cần thiết sẽ phải to bằng chân một người trưởng thành.”^[10] (Dây dẫn có đường kính nhỏ sẽ nóng lên và thậm chí tan chảy trong những điều kiện như vậy, giống như thiết kế cầu chì sử dụng một lần kiểu cũ.) Do đó, dòng điện một chiều có giới hạn vật lý và giới hạn tài chính để phân phối cho địa phương. “Chi phí cho dây đồng để truyền tín hiệu,” ghi chú của một người quan sát đương đại, “có thể quá đắt trong khoảng cách hơn vài trăm thước.”^[11]

Thomas Edison đã phải phát minh ra nhiều thứ hơn chỉ đơn thuần là ánh sáng điện. Giống như những cá nhân sáng tạo của công nghệ mới, ông phải đối mặt với vấn đề lớn hơn là phát triển và triển khai cơ sở hạ tầng cần thiết để hỗ trợ các phát minh của mình. Đứng sau động cơ hơi nước là một mạng lưới các mỏ và hệ thống phân phối cung cấp than cho hoạt động của nó. Các nhà máy sản xuất tại địa phương và mạng lưới đường ống

ngầm giúp duy trì hệ thống đèn khí. Khi Edison lên kế hoạch cho hệ thống thấp sáng điện một chi cầu của mình, không muốn sử dụng dây to như chân người, ông mừng tượng ra các trạm phát điện quy mô trung bình - những động cơ hơi nước quay máy phát điện một chi cầu - mô hình hóa hệ thống của mình theo hệ thống đèn khí và thậm chí lắp hệ thống dây điện, giống như khí đốt, trong đường ống ngầm.^[12]

Với những hạn chế hiện tại của điện một chi cầu, mô hình đèn khí khá phù hợp với nó, ít nhất là ở quy mô địa phương. Nhưng làm thế nào có thể truyền tải điện từ thành phố này sang thành phố khác? Làm thế nào để các nguồn năng lượng mạnh mẽ như thác Niagara cung ứng điện sinh ra cho các trung tâm dân cư xa xôi cần nó? Hai kỹ sư thảo luận về truyền tải điện vào năm 1879 được trích rằng “một kỹ sư điện nào đó” - có lẽ là Edison - “đã khẳng định rằng độ dày của cáp cần thiết để truyền tải dòng điện có thể được tạo ra từ sức mạnh của thác Niagara sẽ tiêu tốn nhiều đồng hơn tổng lượng dự trữ đồng ở khu vực Ngũ Đại Hồ.”^[13]

Edison biết vấn đề ông gặp phải: điện một chi cầu khó truyền tải. Nó phải được sử dụng ở điện áp thấp. Việc chuyển đổi chẳng dễ dàng. Phương pháp tiêu chuẩn của biến đổi điện một chi cầu từ điện áp này sang điện áp khác bao gồm (a) dùng dòng điện một chi cầu để chạy một động cơ một chi cầu nhằm (b) quay máy phát tạo ra dòng điện xoay chi cầu, (c) máy biến áp sau đó nâng dòng điện lên điện áp cao hơn, sau đó (d) một thiết bị gọi là chỉnh lưu chuyển đổi dòng điện xoay chi cầu thành dòng điện một chi cầu. Suy cho cùng, dòng điện cao áp một chi cầu chuyển trở lại điện áp thấp cần một lần nữa đi qua hệ thống máy phát điện. Một quá trình phức tạp như vậy là không hiệu quả, với tổn thất hiệu năng ở từng giai đoạn và chi phí tăng tương ứng.

Edison đã cố gắng chỉ ít là để nói lỏng nút thắt giới hạn này. Để mở rộng phạm vi dịch vụ của mình, ông đã phát triển một hệ thống ba dây, cho phép cung cấp dòng điện một chi cầu với chi phí hợp lý đến một khu vực xung quanh trạm phát lớn gấp ba lần hệ thống hai dây trước đây.^[14] Nhưng việc truyền điện đường dài vẫn là bài toán khó. Vấn đề không phải là lỗi thiết kế mà là về vật lý cơ bản.

Nhà phát minh có nghiên cứu dẫn đến việc áp dụng điện xoay chi cầu để truyền đường dài là một người New England thế hệ thứ tám tên William Stanley Jr., sinh ra ở Brooklyn vào năm 1858. Lớn lên ở Great Barrington,

Massachusetts, ngôi nhà tổ tiên ông nằm ở dãy núi Berkshire, Stanley đã thể hiện một năng khiếu kỹ thuật khác biệt, sửa chữa đồng hồ, cài đặt một đường dây điện tín giữa nhà ông và nhà một người bạn, và duy trì một động cơ hơi nước nhỏ mà một người họ hàng đã cho ông.^[15] Cha của Stanley là một luật sư nổi tiếng muốn con trai mình theo đuổi ngành luật. Chàng trai hai mươi tuổi này đã khởi đầu đúng như vậy, trúng tuyển vào Đại học Yale năm 1879. Tuy nhiên, những lựa chọn khác khiến anh mất tập trung, bao gồm cả một giấc mơ lãng mạn phiêu lãng nơi miền tây. “Tôi đã không học gì rồi bỏ đại học vào Giáng sinh,”^[16] Stanley kể sau này.

Điện vẫn chưa phải là một lĩnh vực chuyên nghiệp vào năm 1879. “Ngày nay, kỹ sư hiện đại khó có thể tưởng tượng được các điều kiện của thời đó,” Stanley thuyết giảng cho khán giả vào năm 1912. “Xin hãy nhớ rằng có rất ít sách về kỹ thuật điện, không có công thức, ngoại trừ những công thức ẩn trong nghiên cứu khoa học, không có danh pháp và hầu như không có bất kỳ thông tin nào về hiện tượng điện xoay chiều.”^[17] Những cơ hội đó, thay vì những giấc mơ phiêu lãng nơi miền tây, có lẽ là lý do khiến nhà phát minh trẻ bỏ học Yale. “Con ngán đến tận cổ rồi,” Stanley đột ngột viết cho cha mẹ mình từ New Haven trong kỳ nghỉ lễ, “con sẽ đến New York.”^[18] Cha ông đã rất tức giận.

Một tháng trước, vào tháng 11 năm 1879, Thomas Edison đã nộp đơn xin cấp bằng sáng chế cho “chiếc đèn điện” của mình.^[19] Để tìm hiểu lĩnh vực mới, Stanley đã đăng ký làm thợ điện học việc trong một nhà máy điện báo và thiết bị báo cháy. Một năm sau, sau khi đã hòa giải với cha mình, ông vay 2.000 đô-la (50.000 đô-la ngày nay) của cha và mua một cửa hàng mạ kẽm, nơi ông học về điện hóa. Ông hoàn trả hết khoản vay đó trong vòng một năm và tìm được việc với Hiram Maxim, người phát minh ra súng máy Maxim nhưng lúc đó giữ vị trí kỹ sư trưởng của Công ty Điện Chiếu sáng New York, một đối thủ của Edison.^[20]

“Cậu ta còn rất trẻ,” Maxim nhớ về Stanley, người mới hai mươi hai tuổi vào năm 1880. “Cao dong dỏng và gầy, nhưng yếu kém gì về thể chất, cậu ấy bù lại bằng lượng việc. Lúc nào cũng sôi sục nhiệt huyết. Không có việc gì đủ nhanh đối với cậu ấy.”^[21] Năm 1881, Maxim yêu cầu Stanley cài đặt hệ thống chiếu sáng đèn sợi đốt mở rộng đầu tiên ở Thành phố New York, trong nhà thuốc Caswell-Massey ở khách sạn Đại lộ 5 trên

đường Broadway, được cung cấp điện bởi máy phát điện Maxim số 20 với công suất bằng hàng trăm đèn Maxim. Stanley chạy một dây cách điện từ cửa hàng máy móc Maxim tại Đại lộ 6 và Đường 26, nơi đặt máy phát điện và động cơ hơi nước, dọc theo đại lộ đến mái khách sạn và vào đèn chùm của nhà thuốc, nổi đất trở lại vào đường ống khí đốt của cửa hàng.^[22]

Maxim đã đến Pháp vào năm 1881 để đại diện cho công ty của mình tại Đấu xảo Paris năm đó. Trong khi ở đó, ông vẽ những thiết kế đầu tiên của súng máy, một vũ khí đáng gờm có thể bắn hơn 600 viên đạn một phút và sẽ giúp ông trở nên giàu có và nổi tiếng khi phát minh của ông với nhiều cỡ nòng đa dạng được mua bởi hầu hết các quân đội và hải quân lớn trên thế giới.^[23] Từ Paris, ông chuyển đến London; ông sẽ không trở về Mỹ trong nhiều năm. Có lẽ vì Maxim đã ra đi, Stanley đã rời khỏi Công ty Điện Chiếu sáng vào năm 1882 và chuyển đến Boston để phát triển sản phẩm cho Điện Chiếu sáng Swan, cho phép ông có thời gian cho các thí nghiệm của riêng mình.

Lòng quyết tâm kết hợp với sự thiếu kiên nhẫn của Stanley một lần nữa làm “đoản mạch” khả năng giữ công ăn việc làm của ông. Trong vài tháng sau khi đến Boston, ông đã bỏ việc ở công ty Swan và chuyển đến sống cùng cha mẹ ở Englewood, New Jersey. Ông thiết lập phòng thí nghiệm của riêng mình ở đó. Trong một thời gian, ông chế tạo không thành công pin lưu trữ. Sau đó, ông chuyển sang phát minh ra một máy phát điện sẽ giải quyết một trong những vấn đề cơ bản của việc tạo ra điện đương thời: sự nhấp nháy của đèn điện khi máy phát điện cấp năng lượng cho chúng có sự thay đổi tải điện. Hầu hết mỗi người chúng ta đều từng trải nghiệm hiện tượng đèn mờ đi khi bật tủ lạnh hoặc lò sưởi. Với các máy phát điện nguyên thủy thời Stanley, điểm yếu kỹ thuật đó rất phổ biến và liên tục, là lý do vì sao nhiều người do dự trong việc thay thế đèn khí của họ bằng đèn điện. Đèn Edison phải được đi đầu chỉnh bằng tay bất cứ khi nào đèn hoặc mô tơ khác trong mạch điện được bật hoặc tắt.

Đến năm 1883, Stanley đã nghĩ ra ý tưởng về một máy phát điện xoay chiều với mạch hồi tiếp thứ cấp: một cặp cuộn dây phụ nhỏ tự động nối vào hay cắt khỏi mạch để tạo sự ổn định bất cứ khi nào điện áp tụt. Một ngày nọ, khi đang ngồi trên một chuyến tàu, mê mải với vô vàn ý tưởng mới, thì em trai của George Westinghouse, Herman, tình cờ ngồi xuống cạnh ông. Họ bắt đầu trò chuyện; chẳng mấy chốc Stanley nói với Herman

ý tưởng của mình về máy phát điện xoay chiều tự điểu chỉnh.^[24] Herman là người có khả năng nhận biết đâu là ý tưởng hay. Ông đã kết nối Stanley với George, người phát triển thành công phanh khí nén cùng các máy móc đường sắt khác giúp cho các chuyến tàu dài và vận chuyển đường dài trở nên thực tế. George vừa mới xem xét bước vào lĩnh vực điện chiếu sáng, theo đuổi công nghệ điện xoay chiều thay vì điện một chiều. Ông đã tuyển dụng một nhóm các kỹ sư trẻ để xây dựng nền tảng kiến thức chuẩn chỉnh cho bản thân, nhưng ông vẫn chưa toàn tâm toàn ý với nó. Nghiên cứu của Stanley chính là đòn bẩy thuyết phục được ông. Đầu năm 1884, ông đã thuê chàng kỹ sư hai mươi lăm tuổi để phát triển một hệ thống điện xoay chiều hoàn chỉnh, từ máy phát điện đến mô tơ và chiếu sáng.^[25]

Westinghouse đã thuê Stanley làm kỹ sư trưởng. Vào năm 1884, dự án đầu tiên của nhà phát minh trẻ là thiết lập một nhà máy quy mô hoàn chỉnh ở Pittsburgh để sản xuất đèn sợi đốt dựa trên thiết kế của riêng mình. Tại đó, ông bỏ qua công nghệ sợi tơ lõi thời sang sợi làm từ leucine, một dạng tinh thể màu trắng của acid amin chiết xuất từ lá lách động vật, tuyến tụy hoặc não. Nó có thể được ép bằng máy xay như mì ống thành một sợi đồng nhất, cắt và tạo hình theo ý muốn, và sau đó carbon hóa.^[26] Tuy nhiên Stanley vẫn trăn trở về dẫn điện đường dài. “Trong suốt năm bận rộn này,” ông nhớ lại vào năm 1912, “tôi vẫn nghĩ đến vấn đề phân phối nan giải. Nó đã trở thành tham vọng vào thời điểm này - tham vọng bí mật của tôi, nếu phải thú nhận. Vài lần trong năm, tôi định dành thời gian cho nó nhưng phải chờ đến tận mùa thu.” Chưa có thời gian để phát triển máy phát điện xoay chiều tự điểu chỉnh của mình, ông thử nghiệm với việc chuyển đổi dòng điện một chiều thành dòng điện xoay chiều sử dụng một dạng khác của cuộn dây cảm ứng. “Nó chạy được,” ông nhớ lại, “đến một chừng mực nào đó nhưng trời ơi nó phát sáng mới đẹp làm sao!”^[27]

Vào mùa xuân năm 1885, Stanley ngã bệnh. Không có ghi chép về tình trạng bệnh tật cụ thể, nhưng ông có nói về sự suy yếu “khả năng quản lý nhà máy ở Pittsburgh và guồng công việc của nó. Bác sĩ khuyên ông nên chuyển về nông thôn, đi đâu đó cho thấy rằng ô nhiễm khói độc hại từ ngành sắt thép đang bùng nổ của Pittsburgh đã phá hoại phổi của ông. Stanley cũng chán nản với tiến độ phát triển chậm chạp của công nghệ mới: “Tôi khá nản lòng với môi trường không phù hợp xung quanh, công việc thì khó khăn còn kết quả thì nhỏ giọt.”^[28]

Sau đó Westinghouse can thiệp bằng một ý tưởng giúp Stanley đột phá. “Một ngày nọ, khi công việc thử nghiệm gây khó cho tôi, Ngài Westinghouse nói với tôi rằng ông có một lựa chọn hợp tác với Gaulard & Gibbs” - đối tác điện năng ở châu Âu - “và đề nghị gửi cho tôi máy phát điện xoay chiều (Siemens) và cuộn cảm của họ.”^[29]

Máy phát điện xoay chiều Siemens là một phiên bản giống với thứ Stanley đang cố gắng phát triển. Vận hành nhờ một động cơ hơi nước, nó tạo ra dòng điện xoay chiều cao áp. Dòng điện đó sau đó được đưa vào một cuộn cảm để giảm điện áp đủ để cấp năng lượng cho đèn điện. Nhưng bởi vì các cuộn cảm đã được kết nối thành chuỗi, giống như đèn cây thông Giáng sinh, chúng có một dòng điện chung, có nghĩa hiệu điện thế của nó thay đổi theo nhu cầu, làm cho đèn nhấp nháy và có nguy cơ quá tải nếu bất kỳ bộ phận nào lỗi.

Đột phá của Stanley đến từ việc nghiên cứu hệ thống Siemens. Ông nhận ra nếu có thể tạo ra một cuộn cảm - một “máy biến áp” như ông gọi - mắc song song thay vì mắc nối tiếp thì mỗi cuộn dây sẽ hoạt động độc lập. Sự sắp xếp đó sẽ giữ cho dòng điện ổn định bất kể nhu cầu ngay cả khi một có bộ phận hỏng. “Vấn đề sẽ được giải quyết một cách tinh tế,” ông hả hê.

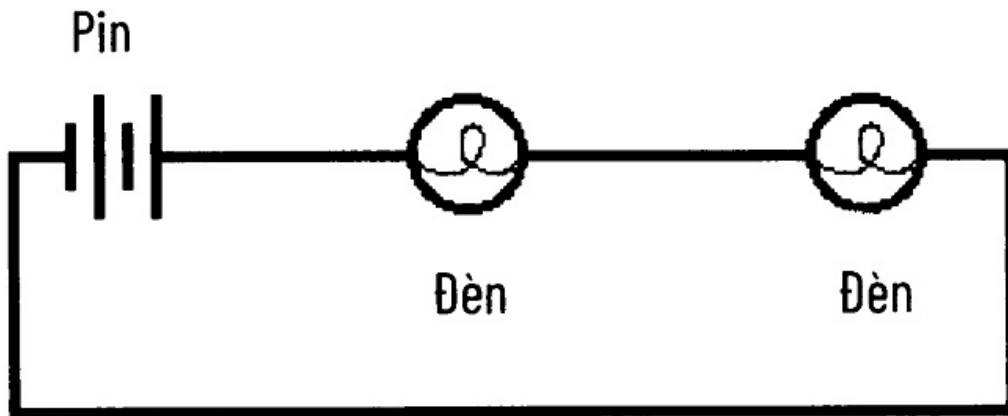
Giải pháp này tương tự như hệ thống được sử dụng trong một số loại mô tơ điện để điều chỉnh tốc độ của chúng. “Lúc đầu, tôi nhớ lơ mơ về sự tương đồng này nhưng ngay sau đó tôi có niềm tin mạnh mẽ và rõ ràng. Tôi đã rất phấn khích bởi nó dường như quá đơn giản và quá dễ dàng để có thể là sự thật. Tôi gần như sợ tin vào hay đã động đến nó, vì tôi đã trải qua rất nhiều thất vọng cũng như phải lo lắng và làm việc quá sức; nhưng khi niềm tin của tôi tăng lên và được củng cố, tôi đã có được sự can đảm. Sau đó, tôi thấy rõ ràng giải pháp thực sự đã xuất hiện.”^[30]

Westinghouse lúc đó chưa phải là chuyên gia về điện như sau này. Ông vẫn còn bận tâm với hệ thống an toàn đường sắt và khí đốt tự nhiên. Ông đã hỏi một cố vấn chuyên gia, Franklin Pope, một luật sư về bằng sáng chế, đồng phát minh với Edison về máy báo chỉ số chứng khoán, cũng là biên tập viên của tạp chí *Electrical Engineer*, để thay mặt ông đánh giá ý tưởng của Stanley.

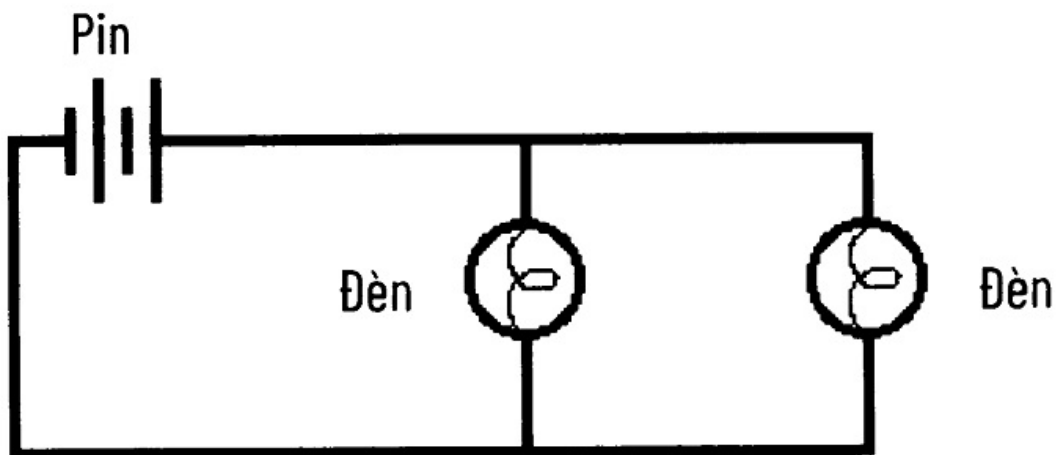
Stanley đã cố gắng giải thích với Pope rằng việc kết nối máy biến áp song song, như kết nối một mô tơ song song, sẽ tự động điều chỉnh dòng điện. “Tôi đã diễn thuyết hùng hồn về quy trình tự điều chỉnh của hệ thống

kết nối song song,” ông nhớ lại, “và cố gắng hết sức để mô tả hiện tượng rõ ràng cho ông ấy. Nhưng nhận thức của Pope đến chậm hơn khá so với sự kiên nhẫn của tôi.”^[31] Cái nhìn sâu sắc của Stanley nằm ở chỗ máy biến áp nối song song có thể được sử dụng để tăng điện áp từ máy phát điện trong khi hạ cường độ dòng điện. Điện áp cao hơn và cường độ dòng điện thấp hơn sẽ loại bỏ sự cần thiết của dây dẫn dày, nặng và khiến việc truyền tải điện hiệu quả qua khoảng cách lớn trở nên khả thi. Ở đầu kia của đường truyền, quá trình tương tự ngược lại có thể giảm điện áp theo yêu cầu của địa phương trong khi tăng cường độ dòng điện để mức năng lượng đủ mạnh.

MẠCH ĐIỆN NỐI TIẾP



MẠCH ĐIỆN SONG SONG



Mạch điện nối tiếp và mạch song song

Dường như Pope chỉ nghe được con số cho điện áp cao mà Stanley đề xuất, rõ ràng là không hiểu rằng cường độ dòng điện, không phải điện áp, mới nguy hiểm chết người. (Một hàng rào điện sử dụng pin 9 volt để sạc tụ điện khoảng 8.000 volt, đồng thời giảm cường độ dòng điện xuống còn khoảng 0,1 amp. Lỡ chạm vào hàng rào điện gây cảm giác như chuột rút cơ bắp ngắn, khó chịu, nhưng vô hại. Một mạch điện gia dụng của Mỹ hoạt

động ở mức 120 volt và 15 amp, do cường độ dòng điện cao hơn nên đương nhiên sẽ nguy hiểm hơn nhiều, mặc dù thường không đến mức tử vong.) Pope đã không hiểu. Ông nói với Stanley rằng tăng một dòng điện lên 500 volt sẽ có nguy cơ gây hỏa hoạn hoặc giết chết người. Stanley kết luận, “Ông ấy nghi hoặc và không chấp thuận kế hoạch này.”^[32]

Vì sự không tán thành của Pope, George Westinghouse đã không trực tiếp ủng hộ cho đề xuất của Stanley muốn trình diễn công khai để chứng minh nguyên lý truyền tải đường dài của dòng điện xoay chiều là thực tế. Mặc dù bệnh của Stanley trở nặng mùa xuân năm đó, ông quyết tâm dùng tiền riêng để đầu tư và tin tưởng vào sự đột phá này. Ông đã bán một nửa cổ phiếu Westinghouse của mình và đồng ý sử dụng số tiền thu được để thí nghiệm.

Giả sử hệ thống Stanley hoạt động trơn tru thì đó là một thỏa thuận tốt cho Westinghouse. Stanley nhìn xa và tuyên bố vào năm 1912 rằng thỏa thuận đó có vẻ “hoàn toàn một chiều, vì tôi không được hưởng lợi gì ngoài trừ tư cách cổ đông trong công ty.” Tuy một chiều là vậy, nhưng Stanley đã rất hạnh phúc khi được rời khỏi thành phố khói bụi để trở về Great Barrington, nơi màn trình diễn sẽ diễn ra, rằng ông nhớ “đó là thỏa thuận hời nhất trong đời tôi... Chúng tôi rũ sạch bụi bẩn của Pittsburgh khủng khiếp trên người, và vội vã đến những cánh đồng xanh Berkshire để xây một phòng thí nghiệm và đón nhận thành công hay diệt vong trong sự nghiệp của chúng tôi.”^[33]

Trước khi Stanley và gia đình rời Pittsburgh vào đầu hè năm 1885, ông tập trung hết sức để thiết kế và xây dựng một số máy biến áp cho kết nối song song. Một trong số đó, ông nhớ lại vào năm 1912, có cuộn cảm sơ cấp điện áp 500 volt cùng một cuộn cảm thứ cấp sẽ giảm điện áp xuống 100 volt, trở thành “nguyên mẫu của mọi máy biến áp kể từ khi nó được chế tạo.” Dự án đó và việc chuyển đến Great Barrington đã đánh gục Stanley; ông đổ bệnh trong suốt phần còn lại của mùa hè. “Nhưng vào những đêm tháng 9 mát mẻ, sức khỏe của tôi trở lại, và tôi bắt đầu trang bị cho phòng thí nghiệm của mình.”^[34]

Để có phòng thí nghiệm và nhà máy điện của mình, Stanley đã thuê một nhà máy cao su bỏ hoang ở đầu phía bắc của thị trấn, mua một động cơ hơi nước 25 mã lực để tạo năng lượng và lắp nó trong nhà máy cũ. Thất vọng thay, động cơ hơi nước quá khó sử dụng: “Tôi đã thường xuyên gặp, trong

một cuộc đời dài và đầy bão tố, những khó khăn nghiêm trọng và dai dẳng, nhưng chưa từng gặp phải bất kỳ thiết kế nào, dưới bất kỳ hình thức nào, lại đặc biệt gây rắc rối như động cơ này,” ông nhớ lại. “Phải mất một tháng để động cơ hơi nước và nồi hơi của nó hoạt động đồng bộ.” Một “sự trì hoãn dai dẳng” khác đeo bám sau khi ông chờ nhận máy phát điện xoay chiều Siemens mà Westinghouse đã đặt mua cho ông từ London.^[35]

Stanley đã tận dụng sự chậm trễ để bắt đầu xây dựng tổng cộng 26 máy biến áp, sáu trong số đó được lắp trong tầng hầm các tòa nhà ở Great Barrington mà ông đang cung cấp năng lượng. (Số còn lại nằm ở Pittsburgh.) Tại nhà máy điện của nhà máy, máy phát điện xoay chiều Siemens sẽ tạo ra dòng điện 12 amp ở điện áp 500 volt. Một trong những máy biến áp sau đó sẽ tăng điện áp lên 3.000 volt, từ đó làm giảm cường độ dòng điện. Từ nhà máy cũ, Stanley thuê thợ xâu một cặp dây đồng cách điện xuống đường chính của thị trấn: 1.200 mét dây dẫn, khoảng bốn phần năm dặm, được gắn trên các thiết bị cách điện đóng đinh vào cây du già trên vỉa hè. Dây phân phối sau đó dẫn dòng điện vào tầng hầm, nơi các máy biến áp được lắp ở đó hạ dòng điện trở lại mức 500 volt.^[36]

Với tất cả mọi thứ sẵn sàng và nhà máy điện hoạt động, hệ thống máy biến áp thấp sáng 13 cửa hàng, hai khách sạn, hai văn phòng bác sĩ, một cửa hàng cắt tóc, trạm điện thoại và bưu điện. “Cuối cùng, thị trấn đã được thấp sáng,” Stanley kết luận, “và chúng tôi đã có bằng chứng xác thực cho thành công của mình. Chúng tôi đã tổ chức một đêm hội vinh danh điện. Đường phố và các cửa hàng đã chật kín người, 150 chiếc đèn lớn phát sáng gấp bội so với khi dùng nến và người dân thị trấn của tôi, mặc dù rất hoài nghi về những nguy hiểm sẽ gặp phải khi đi gần đèn, vẫn chung vui với tôi.”⁽²³⁾^[37]

Điện được cung cấp thường xuyên từ một trạm trung tâm bắt đầu ở Great Barrington, Massachusetts, vào ngày 6 tháng 3 năm 1886. Người dân thị trấn Stanley có thể hoan hỉ, nhưng không ai đến từ Westinghouse Pittsburgh chứng kiến. Thất vọng tràn trề, Stanley bắt tàu đến New York và tìm kiếm một người bạn cũ và là đồng minh của Westinghouse, Henry M. Byllesby, một người quản lý trẻ tuổi nhưng tài năng mà George Westinghouse chiêu nạp được cho Công ty Điện Chiếu sáng Edison vào cuối năm 1885 khi ông thành lập Công ty Điện lực Westinghouse. Byllesby nhận thấy sau đó - vào tháng 11, khi Stanley đang thấp sáng Great

Barrington - rằng “về cơ bản không có ai trong công ty, ngoại trừ ngài Westinghouse và Frank Pope đáng mến, có bất kỳ kỳ vọng thực sự nào về khả năng thương mại từ hệ thống điện xoay chiều.”^[38] May thay Byllesby quý Stanley và khi Stanley gặp ông ở New York vào tháng 3 năm 1886, ông đã lắng nghe Stanley:

Stanley đến gặp tôi ở New York vào thứ Sáu và gây ấn tượng với tôi về thực tế rằng ông ấy thực sự đã có một trạm điện xoay chiều nhỏ đang chạy tại Great Barrington, và ông ấy khẩn thiết thuyết phục tôi quay trở lại Great Barrington với ông ấy để xem nó tận mắt.

Tôi đã làm thế, và dành ngày thứ Bảy tuần sau ở đó. Tôi thấy ông ấy đã có một hệ thống hoàn chỉnh, tất nhiên ngoại trừ đồng hồ đo và mô tơ, nó thực sự đã vận hành được, chạy tốt là đằng khác, và chỉ cần chút sửa đổi tương đối, có thể đưa ra thị trường.”^[39]

Từ Great Barrington, Byllesby đi đến Pittsburgh để tóm tắt cho Westinghouse. Byllesby đã “nhiệt thành hết mực,” ông nói, nhưng nhà công nghiệp Pittsburgh này và các cộng sự của ông vẫn do dự.^[40] Một chuyến thị sát Berkshire được ấn định vào ngày 6 tháng 4 năm 1886 cuối cùng đã thuyết phục được họ về hệ thống của Stanley. “Chuyến thị sát này,” Stanley nhớ lại, “đã khiến ngài Westinghouse mau mắn nhảy vào lĩnh vực điện xoay chiều, vì tính mới mẻ và phạm vi ứng dụng của hệ thống làm đã gây ấn tượng sâu sắc với ông.”^[41] Tiếp theo đương nhiên là việc thương mại hóa. Vào mùa đông, một nhà máy điện quy mô hoàn chỉnh đã cung cấp điện xoay chiều trên khắp Buffalo và tới mùa hè năm 1888, không dưới 100 trạm trung tâm Westinghouse đã cung cấp đèn điện tại các thành phố và thị trấn trên khắp miền đông nước Mỹ.

Các hệ thống đời đầu này vẫn chưa thể truyền điện giữa các thành phố. Các hệ thống điện một chiều liên tỉnh đã vận hành ở châu Âu từ đầu những năm 1880, nhưng hệ thống điện xoay chiều truyền tải liên tỉnh hoạt động đầu tiên được lắp đặt tại Cerchi, Ý, vào năm 1886, để truyền tải dòng điện 2.000 volt qua gần 30 km đến Rome. Hai máy phát điện Ganz chạy bằng hơi nước 150 mã lực sản sinh dòng điện xoay chiều 112 volt, thứ sau đó được đẩy lên điện áp cao hơn để truyền dẫn.^[42]

Vào năm 1892, Stanley đã quyết tìm hiểu xem có những hạn chế gì về mức độ năng lượng điện áp cao có thể được truyền đi. Ông chỉ đạo trợ lý của mình, Cummings C. Chesney, tổ chức một cuộc trình diễn ở phía bắc Great Barrington tại Pittsfield, Massachusetts. “Ông ấy đã hướng dẫn tôi thiết kế và chế tạo... các máy biến áp và một đường dây cho dòng điện 15.000 volt,” Chesney ghi chép.^[43] Để làm như vậy, Chesney thiết lập máy biến áp chuyển đổi mạch của thị trấn từ 1.000 đến 15.000 volt, dựng lên một đường dây điện xung quanh một trang trại dẫn trở lại cùng một máy biến áp, chuyển đổi lại dòng điện xuống còn 1.000 volt và đưa dòng điện này quay trở vào mạch của thị trấn. Nhà máy nhỏ này hoạt động hoàn hảo suốt mùa đông ở New England. Trong những năm sau đó, Stanley đề nghị điện thế cao hơn 15.000 volt. Truyền tải điện đường dài ngày nay bắt đầu ở mức 110.000 volt (110 kilovolt, kV) và thậm chí có thể đạt tới mức cao tới 765 kv.

Năng lượng miễn phí từ ánh sáng mặt trời đưa hơi nước vào không khí, từ đó nó rơi xuống thành mưa hoặc tuyết. Sức mạnh từ các nguồn nước rơi xuống trở thành năng lượng tự do: thủy điện là một lựa chọn đầu tiên chắc chắn để tạo ra điện. Công ty Điện lực Thác Willicette đã lắp đặt nhà máy thủy điện phát điện xoay chiều đầu tiên ở Mỹ vào năm 1889 để cung cấp điện từ thành phố Oregon đến Portland, Oregon, cách đó 20 km.^[44] Công ty Điện lực Telluride đã xây dựng một nhà máy thủy điện nhỏ ở Ames, Colorado, vào năm 1890 để cấp năng lượng cho một mỏ vàng cách đó 5 km. Các cơ sở hạ tầng tương tự xuất hiện theo sau ở San Bernardino, Pomona, ở Redlands, California và ở Hartford, Connecticut.^[45] Hai sử gia thời đó viết, “Với những nhà máy này, kỷ nguyên truyền tải thủy điện ở Mỹ đã bắt đầu, và thống kê cho thấy gần 300 nhà máy đã thực sự hoạt động vào khoảng năm 1896.”^[46]

Lớn nhất và quan trọng nhất trong số này là các nhà máy thủy điện ở thác Niagara. Hàng loạt dự án đã được phát triển từ những năm 1850 để khai thác nguồn nước khổng lồ của dòng sông Niagara, từ một kênh đào sức nước vùng thượng lưu để cho xưởng bột giấy và xưởng xay bột, đến một hệ thống xử lý nước thải kết hợp thủy điện ở Buffalo. Với việc bất chấp cảnh quan khu vực, dự án của Buffalo sẽ xả nước thải từ một thành phố 256.000 người thông qua một đường hầm dưới thác đổ xuống sông

bên dưới, nơi nước thải kết hợp với nước ngọt có thể cung cấp năng lượng cho hàng nghìn xưởng và nhà máy.^[47]

Kênh đào sức nước cuối cùng đã được xây dựng, nằm ở thượng lưu và khuất tầm nhìn của thác (may mắn thay không xả nước thải). Những gì mà nghệ sĩ Frederic Church, trong một bức thư năm 1869 gửi cho kiến trúc sư cảnh quan Frederick Law Olmsted, gọi tên “sự tàn phá chóng vánh với hiện trạng đặc trưng của Niagara,” nhanh chóng thu hút sự quan tâm của công chúng đối với việc bảo tồn.^[48] Đến lúc đó, mọi bờ sông ở mạn Mỹ của thác Niagara nằm bên trên và bên dưới thác đều thuộc sở hữu tư nhân và sẽ phải được mua lại. Điều đó khiến cho các nhà lập pháp bang New York ở Albany miễn cưỡng sử dụng ngân sách để mua lại. Từ năm 1879, khi người dân bắt đầu gia tăng bất mãn, chính quyền phải mất bảy năm để thuyết phục họ. Các chủ sở hữu bất động sản ở bờ sông tuyên bố quyền sở hữu tới giữa dòng sông - và cả năng lượng tiềm tàng của dòng sông - và định giá tài sản tương ứng của họ là khoảng 30 triệu đô-la. Tòa án Tối cao New York không đồng ý về việc mở rộng quyền sở hữu của họ ra giữa sông, giảm yêu cầu của họ xuống còn 4 triệu đô-la. Các ủy viên được cơ quan lập pháp bang bổ nhiệm sau đó đã đánh giá khu đất sẽ được sử dụng cho mục đích công ở mức 1,4 triệu đô-la (37,5 triệu đô-la ngày nay). Chính quyền đã thu mua nó, và Khu bảo tồn Quốc gia Niagara ra đời vào năm 1885.^[49] Trong vòng hai năm, số lượng du khách du lịch đến thác trên các chuyến tàu du ngoạn theo mùa đã lên tới 166.000 lượt.^[50]

Năm 1886, một nhóm các nhà đầu tư đã phân phát một bản cáo bạch cho *Power from Niagara Falls by Electricity* (Năng lượng từ thác Niagara bằng điện năng), cho thấy viễn cảnh đầy tham vọng của việc sản sinh năng lượng ở quy mô thác Niagara. Việc chiếu sáng Buffalo với sức mạnh từ thác Niagara “giờ hoàn toàn nằm trong tầm tay của chúng ta,” bản cáo bạch tuyên bố, “quan điểm đó được hưởng ứng mạnh mẽ khắp giới khoa học rằng sẽ có các giải pháp công nghệ trong tương lai gần để truyền năng lượng qua khoảng cách lớn hơn nhiều.” Chưa có giải pháp thích hợp vào năm 1886 - hệ thống truyền tải điện xoay chiều của Stanley chưa xuất hiện - nhưng bản cáo bạch tiếp tục, “nhưng một ứng dụng đã ra đời từ một chủ sản xuất ở Birmingham, Anh, cho... truyền tải năng lượng bằng khí nén.” Nén khí bằng máy bơm điện tại thác Niagara và đường ống dẫn đến Buffalo để thay thế hơi nước trong động cơ hơi nước có thể sẽ thành công,

nghe lạ tai hoặc bất khả thi với khoa học ngày nay, nhưng việc truyền tải năng lượng xa hơn thông qua một hệ thống hiệu năng thấp như vậy vẫn là không khả thi.^[51]

Từ năm 1887 đến năm 1896, Westinghouse và Thomas Edison đã chiến đấu với thứ được gọi là Cuộc chiến Dòng Điện, giữa dòng điện xoay chiều của Westinghouse và dòng điện một chiều của Edison. Câu chuyện lịch sử đó đã được đồn thổi rất chi tiết ở những nơi khác, phần nào phóng đại vai trò của kỹ sư sáng tạo người Serbia là Nikola Tesla, người mà đóng góp quan trọng duy nhất đối với “cuộc chiến” này là mô tơ điện xoay chiều. Cuộc chiến đã lên đỉnh điểm trong sự phát triển của sản xuất thủy điện trên quy mô lớn tại thác Niagara.

Một bước ngoặt quan trọng đã đến vào năm 1890. Một hệ thống điện đã được lên kế hoạch cuối những năm 1880 sẽ tránh việc xâm phạm khu bảo tồn quốc gia Niagara. Khu vực đó bao gồm bờ sông Niagara từ thác qua Đảo Dê khoảng 1,6 km đến Port Day, cũng như dòng sông bên dưới thác cho Cầu Treo, một cây cầu đường sắt dài 4 km xuôi dòng. Dự án này bao gồm đào một đường hầm ngầm dài 4 km có đường kính 4,2 mét từ bờ sông phía đông của Port Day theo dòng chảy ngắn nhất qua dòng thác xuống dòng sông thấp hơn, nơi nó sẽ xả dưới Cầu Treo. Kết nối với đường hầm này bằng hơn 5 km đường hầm nhánh, 238 bánh xe nước 500 mã lực nước sẽ cung cấp năng lượng cho 238 nhà xưởng. Một cộng đồng công nghiệp mới sau đó có thể thành lập bên ngoài khu bảo tồn để vận hành và sản xuất hàng hóa nhờ sức nước.

Kế hoạch này có thể thành hiện thực, nếu được đầu tư đúng mức. Nhưng việc đào đường hầm qua hơn 8 km đá vôi cứng sẽ rất tốn kém, và việc phát triển một thành phố công nghiệp với hàng trăm nhà xưởng ở nơi vẫn còn là một vùng hoang dã, theo lời sử gia đầu tiên về dự án thác Niagara, Edward Dean Adams, “là phi thực tế, đòi hỏi thời gian và gia tài của cả một thế hệ.”^[52] Kế hoạch này hướng về các công nghệ của quá khứ tại thời điểm mà các công nghệ mới gần như đã sẵn sàng để tạo ra điện và truyền nó đến các thành phố xa xôi, trước hết là Buffalo.

Edward Dean Adams quay lưng với dự án thác Niagara. Trước khi trở thành sử gia không chính thức về con thác, ông là một kỹ sư và chủ ngân hàng đầu tư chuyên tái cơ cấu lại các công ty phá sản, tập trung vào đường sắt nói riêng. Một “nhà quan sát kinh tế” đã nói với tạp chí *Time* về sự

nghiệp ban đầu của Adams, “ngài Adams [là] một trong những nhà tài chính trẻ sắc sảo và kín tiếng nhất ở New York.”^[53] Adams là một người đàn ông nhỏ bé, con thứ trong số mười đứa con của một người bán tạp hóa ở Boston và vợ ông đã tốt nghiệp ngành khoa học của Đại học Norwich ở Vermont và một sinh viên kỹ thuật tại Học viện Công nghệ Massachusetts (MIT) trong những năm đầu tiên hoạt động. Bên cạnh việc giữ các vị trí đi đầu hành một số tuyến đường sắt trong hai thập niên cuối của thế kỷ, ông có chân trong ban quản trị Công ty Điện Chiếu sáng Edison vào đầu những năm 1880 khi Edison đang mắc dây điện cho Thành phố New York.^[54]

Thomas Edison đã phát triển hệ thống phân phối của mình cho chiếu sáng và cấp điện chỉ là phụ. Thác Niagara hứa hẹn thử thách ngược lại, phát triển một hệ thống phân phối điện còn chiếu sáng là phụ. Là một đối tác trong Winslow, Lanier & Co., một công ty ngân hàng tư nhân ở New York, Adams tham gia vào dự án thủy điện Niagara vào mùa hè năm 1889. Ba nhà đầu tư giành được quyền khai thác cho một dự án Niagara trước đó nay thành lập một tổ chức mới, Công ty Xây dựng Cataract ở New Jersey, nhưng không thành công hơn người tiền nhiệm trong việc tăng vốn cần thiết là bao. “Ba dự án như vậy đã thất bại,” tạp chí *Time* đánh giá; “800.000 đô-la đã bay hơi.” Trong tháng 8, Công ty Xây dựng Cataract đề nghị cho ngân hàng Winslow, Lanier một nửa lãi của dự án. Adams yêu cầu sáu tháng để khảo sát.^[55] Một trong những quyết định đầu tiên của ông là từ chức ở Công ty Điện Chiếu sáng Edison nhằm giải thoát bản thân khỏi mọi xung đột lợi ích khi bắt đầu xem xét các điều kiện tại Niagara và tình trạng của ngành công nghiệp điện.

Câu hỏi đầu tiên Adams đặt ra cho các chuyên gia mà ông bắt đầu tư vấn vào tháng 9 năm 1889, là việc truyền tải lượng lớn năng lượng qua khoảng cách dài có thể thực tế và kinh tế đến mức nào. Một trong những chuyên gia tư vấn cho Adams được giữ lại là Tiến sĩ Henry Morton, chủ tịch Viện Công nghệ Stevens. Morton trả lời rằng vấn đề vẫn chưa được giải quyết: “Một lượng lớn năng lượng đã được truyền qua khoảng cách 1 hoặc 2 dặm, và một lượng nhỏ năng lượng đã được truyền đi trong khoảng cách xa, chẳng hạn như 30 dặm, nhưng sự kết hợp của một lượng lớn năng lượng và khoảng cách dài vẫn chưa được nhìn nhận trong thực tế.”^[56] Để thực hiện đi đầu đó, Morton nghĩ, sẽ cần phát triển hệ thống máy móc sử dụng điện mới.

Adams liên hệ với Edison, sau đó đến Paris cho cuộc Đấu xảo Paris để tham khảo ý kiến của ông. Vị hiên giả ở Menlo Park này phản hồi rằng, “Không có khó khăn gì trong việc truyền đi năng lượng không giới hạn” - ý rằng thông qua dòng điện một chiều. “Chúng tôi sẽ hỗ trợ nếu cần.”^[57] Edison khảo sát Niagara vào năm 1886, khi kế hoạch cho các xưởng chạy bằng sức nước địa phương đi qua các nhà máy địa phương vẫn đang được thảo luận. Giờ đây ông đề xuất giải pháp tương tự như ông từng mừng tượng. Thay cho xưởng chạy bằng sức nước cho các nhà máy chưa tồn tại ở vùng sâu vùng xa, ông đề xuất một hệ thống phát điện một chiều thông qua một đường hầm của tua-bin quay nước kết nối với máy phát điện, với dây cáp cách điện và cống nước đặt dưới lòng sông để mang điện ngược dòng đến thành phố Buffalo.

Danh tiếng của Edison đủ danh giá để khuyến khích các nhà đầu tư của công ty Cataract xem xét từ chối dự án cối xay nước để chuyển sang dự án sản xuất điện tại Niagara. Edison muốn thực hiện một cuộc khảo sát mới trước khi ông cam kết xa hơn. Trong tháng 11 năm 1889, khảo sát mới được thực thi, ông đưa ra một ước tính cho việc sản xuất điện một chiều tại Niagara, nhưng không phải để phân phối nó, là 5,2 triệu đô-la (134,6 triệu đô-la ngày nay). Trong khi chờ phản hồi từ Adams và các đối tác của mình, Cataract tạm hoãn quyết định có chấp nhận kế hoạch điện một chiều của Edison hay không.^[58]

Ban quản trị của Cataract hiểu rằng bất kỳ kế hoạch nào được thông qua đều cần làm việc xung quanh khu bảo tồn Niagara, nơi không cho phép phát triển công nghiệp. Vì nước chảy qua thác không thể khai thác năng lượng trực tiếp, nó phải được rút ra từ nước chảy vòng qua thác qua một đường hầm lớn đào xuyên đá vôi cứng và đá phiến ngấn từ con sông trên thác đến con sông bên dưới thác. Một đường hầm như vậy sẽ là sống còn bất kể sản lượng điện được tạo ra là bao nhiêu và liệu nó có được dùng cho việc truyền tải hay không. Lượng nước được rút ra cũng sẽ không quan trọng bởi ngay cả một đường hầm to đến mức thay đổi được diện mạo của thác cũng sẽ chỉ chuyển hướng ít hơn 3% dòng chảy của thác Niagara vĩ đại.^[59]

Ngày nay, không phải là bất thường để bắt đầu xây dựng một số cấu trúc cơ bản của dự án trước khi các thông số kỹ thuật cuối cùng được xác định. Một công trình tiến bộ như vậy lại là bất thường, nếu không muốn

nói là chỉ xảy ra duy nhất vào năm 1890. Tuy nhiên, công ty Catarac vẫn quyết tâm xây dựng đường hầm, ký hợp đồng với một công ty mới thành lập tên là Năng lượng Thác Niagara, ứng trước 2,6 triệu đô-la để đáp ứng chi phí xây dựng. Ban quản trị của công ty mới đã chọn Adams làm chủ tịch, sau đó bổ sung một người Philadelphia sáu mươi ba tuổi tên Coleman Sellers II làm kỹ sư trưởng.^[60]

Adams đến châu Âu vào tháng 2 năm 1890 để tham khảo ý kiến của các nhà khoa học hàng đầu và các kỹ sư thủy lực. Trước tiên ông đến Thụy Sĩ, vì ở đó có những ngọn núi khiến họ có nhiều kinh nghiệm về *thủy* điện hơn bất kỳ quốc gia nào khác trên thế giới. Công ty Oerlikon Machine Works nhận được sự chú ý đặc biệt ở bên ngoài Zurich. Họ đã giành được giải thưởng Grand Prix duy nhất được trao cho máy phát điện tại Đấu xảo Paris 1889, và họ đã sản xuất các mô tơ và máy phát điện lớn nhất trên thế giới. Ở Pháp, Adams đã tìm thấy giải pháp truyền tải điện thay thế các phương pháp truyền năng lượng cũ như trục, dây thừng, guồng nước, nước đi đầu áp và khí nén. Ông đã thu thập và nghiên cứu hàng nghìn cuốn sách nhỏ, catalog, ảnh, tạp chí, và báo cáo từ các công ty và hiệp hội khoa học kỹ thuật.^[61]

Đến tháng 5, Adams kết luận rằng dù năng lượng được sử dụng cục bộ hay được truyền đi, thì chỉ cần một nhà máy điện ở Niagara, và đường hầm có thể được rút ngắn, ông đã triệu tập một Ủy ban nhà khoa học và kỹ sư Niagara Quốc tế nhằm đưa ra ý tưởng, nghiên cứu và xác nhận mọi kế hoạch. Từ Paris, ông truyền điện tín đến New York, yêu cầu ban quản trị Năng lượng Thác Niagara chấp thuận và cử Coleman Sellers đến gặp mình ở London. “Ban giám đốc hiện tại phê duyệt kế hoạch của ông,” ban giám đốc trả lời. “Seller sẽ đi truyền buồm vào thứ Bảy với tất cả các giấy tờ cần thiết.”^[62]

Sellers có mặt vào đầu tháng 6. “Tôi đã gặp ngài Adams ở London,” ông nhớ lại, “...và nhận thấy ông ấy nhiệt tình hơn bao giờ hết với dự án này.”^[63] Sellers và Adams đến Thụy Sĩ một lần nữa để xác nhận quyết định chuyển từ các nhà máy chạy bằng sức nước sang chạy bằng điện. Đến cuối tháng, hai người đã gặp nhau ở London với các nhà đầu tư quan tâm và bố trí ủy ban quốc tế mà Adams đã đề xuất. William Thomson, Lord Kelvin, nhà vật lý người Scotland nổi tiếng, người đã tìm ra định luật thứ hai của

hiệt động lực học và chỉ đạo việc đặt đường dây cáp điện tín xuyên Đại Tây Dương đầu tiên, trở thành chủ tịch ủy ban.

Trong ba năm tiếp theo, các kỹ sư làm việc dưới quyền Adams và Sellers đã thiết kế một hệ thống khai thác sức mạnh của Niagara. Một thử thách lớn đã đến tại một cuộc họp của ủy ban quốc tế khi Lord Kelvin, một người rất chống đối dòng điện xoay chiều, đã cương quyết muốn loại trừ nó khỏi dự án sau này. Sellers đặt câu hỏi về *sự cương* đó, dựa trên lập luận rằng kiến thức chuyên môn của ủy ban về khả năng của dòng điện xoay chiều tại thời điểm đó là không đủ để biện minh cho hành động sẽ không chấp nhận hệ thống đó.”^[64] Kỹ sư người Mỹ đã thắng cuộc tranh cãi ngày hôm đó trước một trong những nhà khoa học nổi tiếng nhất đương thời. (Kelvin sau đó đã đưa ra lời xin lỗi.) Sau đó, Westinghouse đã thắng thế trước Edison cho dự án thắp sáng Hội chợ Thế giới ở Chicago năm 1893 với điện xoay chiều, ông giành được hợp đồng xây dựng nhà máy điện để sản xuất dòng điện xoay chiều từ thác Niagara rồi truyền nó đến Buffalo và xa hơn thế nữa.

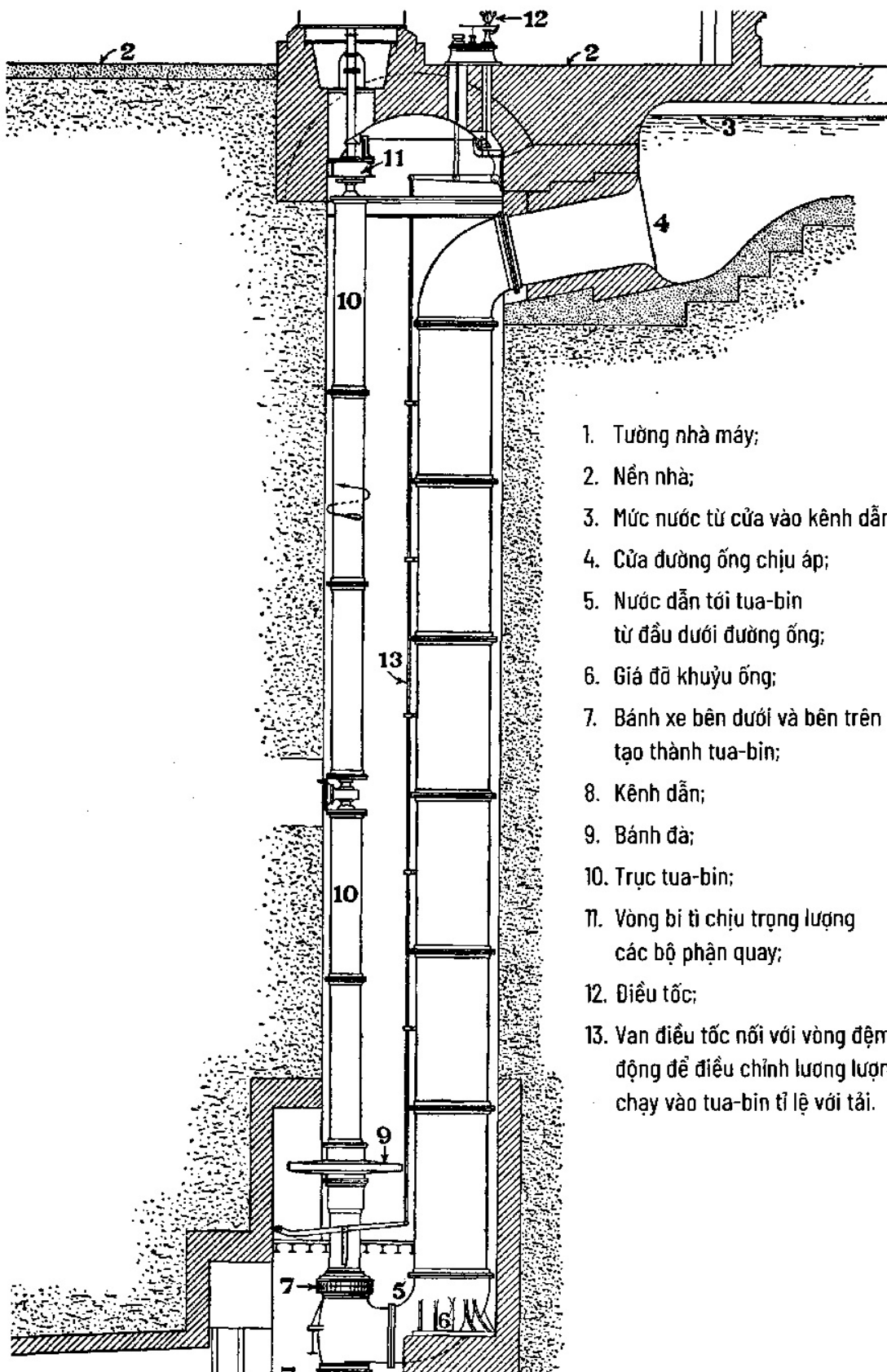
Nhà máy điện đã thành hình hoàn chỉnh này là một kỳ quan khoa học kỹ thuật. McKim, Mead & White, công ty kiến trúc đã thiết kế Bảo tàng Brooklyn và Bảo tàng Lịch sử Quốc gia Mỹ, tại Washington, DC, đã thiết kế trạm biến áp, sử dụng đá vôi khai thác ở Queenston, Ontario, với sự tham gia của các thợ đá Ý. Các tổ máy phát điện và máy biến áp được xây nên đất khu vực thượng lưu, phía trên thành phố Niagara. Nước chuyển hướng vào một kênh từ sông chảy vào nhà máy điện và đổ xuống 42 mét trong mười đường ống chịu áp thẳng đứng.

Đầu dưới cong của mỗi đường ống này hướng dòng nước chảy ào ạt theo chiều ngang qua một tua-bin kép lớn. Sau khi quay tua-bin, nước chảy vào một đường hầm chung dẫn đến đường hầm xả chính, một ống dẫn bằng gạch, hình khiên rộng 5 mét cao 6,3 mét. Ống dẫn khổng lồ đó mang nước xả 2 km xuôi dòng đến một cửa xả chìm một phần vào sông Niagara bên dưới thác.

Các tua-bin được kết nối trở lại với máy phát điện 5.000 mã lực xếp thành hàng trên sàn của nhà máy điện nằm phía trên, quay máy phát và sản sinh ra điện. Điện sau đó được chuyển đến một nhà máy biến áp, đạt mức 11.000 volt và được truyền dẫn đến Buffalo.

Điện bắt đầu chính thức phát từ thác Niagara vào ngày 25 tháng 8 năm 1895, trước tiên được truyền cho một nhà máy chế biến nhôm lân cận⁽²⁴⁾. Trong vòng một năm, điện đã được truyền xa khỏi Buffalo 640 km đến Thành phố New York. Đến năm 1905, Thủy điện Niagara đã sản xuất 10% tổng sản lượng điện ở Mỹ.^[65] Khi nhà máy điện thứ hai bắt đầu hoạt động vào năm 1904, nhà máy sản xuất điện Niagara đã nâng sản lượng thành 100.000 mã lực - bằng với tổng công suất năng lượng được tạo ra trên toàn bộ nước Mỹ từ các nơi khác.^[66]

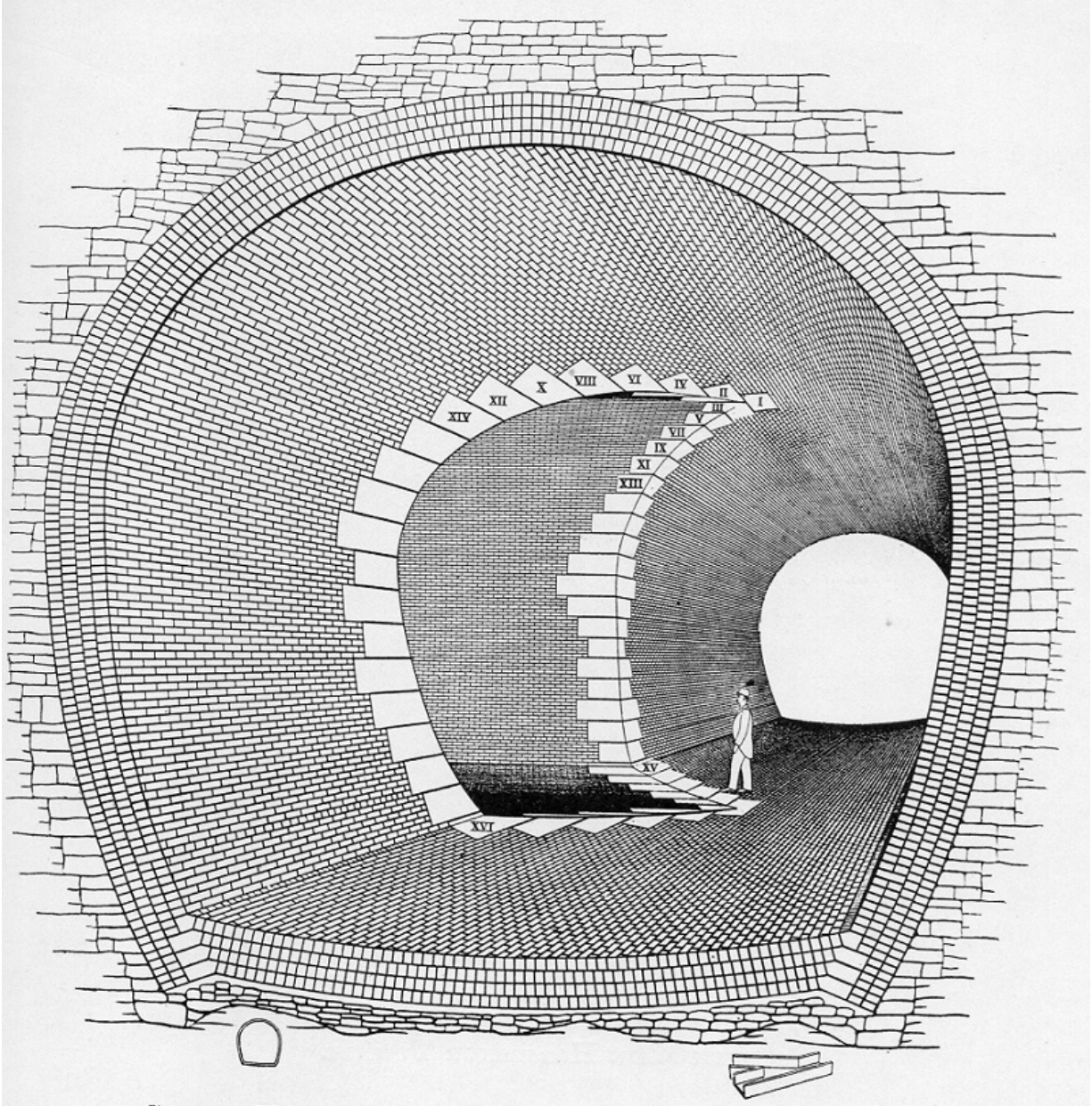
Điện xoay chiều đã giành chiến thắng trong Cuộc chiến Dòng điện. Ngay cả Edison cũng phải miễn cưỡng sản xuất thiết bị dành cho nó. Mô tơ lớn và nhỏ, cho đến mô tơ cho máy may, bắt đầu thay thế tay biên và dây đai truyền năng lượng không hiệu quả từ động cơ hơi nước. Tuy người dân nông thôn vẫn còn đọc sách và nấu ăn bằng dầu hỏa, đèn điện đã được thắp sáng trong chốn đô thị trên toàn thế giới.



1. Tường nhà máy;
2. Nền nhà;
3. Mức nước từ cửa vào kênh dẫn;
4. Cửa đường ống chịu áp;
5. Nước dẫn tới tua-bin từ đầu dưới đường ống;
6. Giá đỡ khuỷu ống;
7. Bánh xe bên dưới và bên trên tạo thành tua-bin;
8. Kênh dẫn;
9. Bánh đà;
10. Trục tua-bin;
11. Vòng bi đỡ chịu trọng lượng các bộ phận quay;
12. Điều tốc;
13. Van điều tốc nối với vòng đệm hoạt động để điều chỉnh lượng nước chảy vào tua-bin tỉ lệ với tải.

MẶT CẮT NGANG CỦA MÁY PHÁT ĐIỆN NIAGARA

Nước vào phía trên bên phải (4), đổ xuống van của phai, quay tua-bin (7) ở dưới cùng của bánh xe h ồ, và thoát ra theo đường h ần bên (8). Trục tua-bin (10) quay máy phát điện trong nhà tua-bin ở mặt đất phía trên.



Đường h ần dẫn nước chính với lối vào h ần kế bên. Để dễ hình dung quy mô, hãy so sánh với kích thước của người đứng cạnh lối vào.

MIẾNG PHO-MÁT VĨ ĐẠI MÀU VÀNG

Nghựa hiện diện trên mọi con phố cách đây một thế kỷ rưỡi, quang cảnh đó hầu như biến mất hoàn toàn ngày nay, ngựa là vật kéo chính thường bị bỏ qua trong các giai đoạn của lịch sử năng lượng. Tuy nhiên ở Manhattan vào cuối những năm 1900, với 1,8 triệu người chiếm một diện tích khoảng 60 km², có đến 130.000 con ngựa chen nhau trên hòn đảo hẹp này.^[1] Ngoài trừ lực lượng cảnh sát cưỡi ngựa và người tập cưỡi ngựa ở Công viên Trung tâm, rất ít người trong thành phố cưỡi trên lưng ngựa. Những con ngựa của Manhattan, như trong tất cả các khu vực đô thị của Mỹ và châu Âu, kéo những cỗ xe hai bánh và bốn bánh, xe khách hai tầng và xe khách đường ray, xe kéo và xe toa. Ngoài hành khách, chúng còn giao sữa, thực phẩm, đồ giặt ủi, bia, nước đá, than, xe cứu hỏa và xe phun nước, cũng như vận chuyển tuyết và phân của chính chúng khỏi đường phố.

Vào thế kỷ 18 và đầu thế kỷ 19, xe khách đường ngắn đưa người từ nông thôn vào các thành phố lớn hơn của Mỹ. (Ở các thành phố và thị trấn nhỏ hơn, mọi người đi bộ. “Giai đoạn tiền công nghiệp thì ‘thành phố đi bộ,’” theo ghi chép của sử gia Ann Norton Greene, “luôn giữ quy mô nhỏ gọn vì khoảng cách một người có thể đi bộ thường xấp xỉ hai dặm.”^[2]) Xe khách nhanh chóng phát triển thành xe hai tầng lớn hơn trong những năm 1830. Những chiếc xe ngựa kín này có sức chứa 12 đến 28 hành khách, bảo vệ họ khỏi thời tiết, ngẩng đầu đối diện và quay lưng về phía cửa sổ, cách nhau một lối đi chung ở giữa. Đến năm 1852, tại Hạ Manhattan, khoảng 30 công ty đi đầu phối hơn 700 xe khách hai tầng. Giá vé không hề rẻ: một vé 12 xu, trong khi công nhân kiếm được một đô-la và thợ thủ công cũng chỉ hai đô-la mỗi ngày, làm xe khách chỉ dành cho giới doanh nhân, các lao động trí thức bậc cao trẻ tuổi và gia đình của họ.^[3]



Chợ Gansevoort, Thành phố New York, năm 1907

Đặt xe hai tầng trên đường ray cho phép tăng số lượng hành khách mà ngựa có thể chuyên chở và cải thiện việc đi xe. Năm 1856, khi Hội đồng Thành phố New York đánh giá đầu máy hơi nước trên đường phố là nguy hiểm và cấm chúng đến Đường 42, đường sắt kéo ngựa đã thay thế chúng. Đường ray được đặt phẳng so với mặt đường đã thay thế các đường ray nhô lên làm hư hại xe riêng và làm phiền những người đánh xe khác.^[4] Chủ sở hữu đường ray đã đặt mua những cỗ xe lớn hơn, nhẹ hơn để tăng lượng khách: nhận thêm hành khách mỗi chuyến có nghĩa là họ có thể giảm giá vé. Một tuyến đường sắt như vậy lưu thông hơn 3,5 triệu chuyến đi giữa Thượng và Hạ Manhattan vào năm 1859.^[5] Thành phố Boston cũng có lưu lượng giao thông tương tự mặc dù đường phố chật hẹp và đông đúc. Ở mỗi thành phố Mỹ thế kỷ 19, sự thiếu vắng kiểm soát giao thông làm cho tình trạng ùn tắc hỗn loạn trở nên tồi tệ hơn.^[6] Cảnh sát giao thông và đèn giao thông có lẽ là những đổi mới sáng tạo của thế kỷ 20.



Xe khách hai tầng. Đi trên đường đá cuội sẽ rất khó chịu.

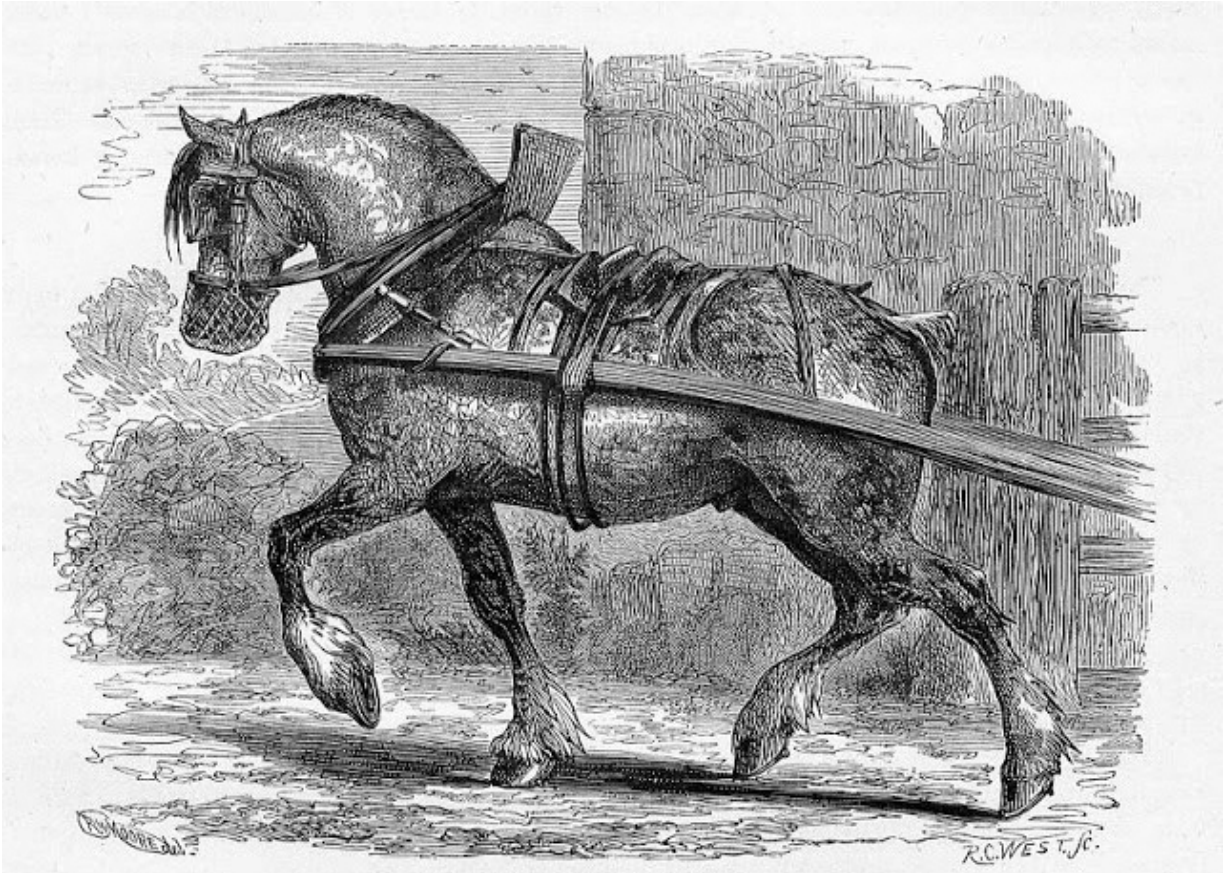
Tải nặng hơn đòi hỏi ngựa to hơn. Các kỹ sư ngày nay thiết kế máy móc hiệu quả kích cỡ thu nhỏ để đáp ứng hầu hết các nhu cầu của con người, từ vi mạch đến máy bay chở khách. Trong thời đại trước, động vật được chăn nuôi và lai giống để phục vụ cho mục đích như vậy: cừu cho thịt cừu và len; gia súc để lấy thịt, sữa; bò cho sức kéo; chó có cả hàng nghìn công dụng lớn, vừa và nhỏ, từ chăn cừu, đến bảo vệ tài sản, tới săn hươu hoặc chuột trong trang trại; và ngựa để vận chuyển, để đua, cho sức kéo, hoặc để tạo ra sức mạnh cố định bằng cách kéo cối xay. Những con ngựa của thành phố thế kỷ 19 là những cỗ máy sống.^[7]

Nông dân miền Trung Tây Mỹ đã nhân giống những con ngựa mà thành phố cần - ban đầu chưa đầu vào đầu nhưng ngày càng lão luyện việc cải tiến có chọn lọc vào cuối thế kỷ này. Tính đến nay thì giống ngựa để làm việc phổ biến nhất ở Mỹ là ngựa Pecheron, giống có nguồn gốc ở khu vực Perche của Pháp, khoảng 80 km phía tây nam Paris. Mặc dù từ lâu người ta đã tuyên bố rằng giống Percheron xuất hiện từ thời Trung cổ khi ngựa cái Perche bản địa được phối với ngựa đực Arab mang về từ các cuộc Thập tự chinh, không có bằng chứng nào khác ngoài lời truyền miệng cho luận điểm đó. Một số bằng chứng khảo cổ xác định giống Percheron có tổ

tiên từ thời đồ đá mới.^[8] Tất cả các dòng Percheron hiện đại đầu là hậu duệ của một con ngựa chiến nổi tiếng tên là Jean Le Blanc, sinh ra tại Le Perche vào năm 1823 khi các nhà lái giống Perche đang gây giống một con ngựa nặng hơn để phục vụ nhu cầu ở Mỹ.

Con ngựa được gây giống có màu xám hoặc trắng, đi êm tĩnh, mạnh mẽ và thông minh, nặng hơn 900 kg và đứng cao một mét tám tính đến vai. Edward Harris, một nông dân giàu có ở New Jersey, người gây giống ngựa, cũng là bạn và người bảo trợ của John James Audubon đã nhập những con Percheron đầu tiên vào Mỹ trong năm 1839. Một chú ngựa giống vô địch tên là Louis Napoléon, nhập khẩu vào Ohio năm 1851, là hình ảnh tiêu biểu cho giống ngựa này. “Percheron nhanh chóng trở thành giống ngựa được yêu thích nhất ở Mỹ,” theo tuyên bố của hiệp hội gây giống ngựa. Cuộc đi đầu tra dân số năm 1930 cho thấy số lượng ngựa Percheron đăng ký ở Mỹ cao gấp ba lần so với tổng số bốn giống ngựa khác.

Ngựa *tăng* số lượng sau tiến trình thương mại hóa động cơ hơi nước bởi vì sức ngựa bù trừ cho điểm yếu của thiết kế hơi nước. Một con ngựa luôn sẵn sàng để kéo một giỏ hàng hoặc cày cánh đồng theo mệnh lệnh, mà không chậm trễ khởi động như đầu máy hơi nước. Những sự chuyển đổi về năng lượng hiếm khi thành công đến mức xóa bỏ hoàn toàn mọi đối thủ cạnh tranh. Phần lớn thế giới vẫn dựa vào động vật để làm nông nghiệp và phương tiện di chuyển: ngựa, bò, lạc đà, lạc đà không bướu, trâu, voi, thậm chí cả con người.



Ngựa Percheron kéo xe, năm 1875

Việc cung cấp rơm và ngũ cốc cho đàn ngựa đô thị trở thành kế sinh nhai của hàng nghìn nông dân. Một con ngựa cưỡi nhàn rỗi ở Thành phố New York cần khoảng 9.000 calo yến mạch và cỏ khô mỗi ngày. Một con ngựa kéo trong cùng một thành phố làm việc về xây dựng cần gần 30.000 calo với cùng loại thức ăn. Hằng năm, mỗi con ngựa kéo tiêu thụ khoảng 3 tấn cỏ khô và 62,5 gia (1 tấn) yến mạch. Phải mất khoảng bốn mẫu đất nông nghiệp tốt để cung cấp cho một con ngựa kéo thành phố.^[9] Vào đầu thế kỷ 19, khi các thành phố ở Mỹ bị giới hạn phần lớn ở Bờ Đông, nông dân hiếm khi vận chuyển rơm cùng kênh đi từ 30 đến 50 km tới khu chợ thành phố.^[10] Thương mại hóa rơm đóng thành bánh trong những năm 1850, làm thủ công hoặc bằng sức ngựa, giảm diện tích kênh của hàng xuống nên cũng giảm chi phí vận chuyển cỏ khô, trong khi việc mở ra thảo nguyên cỏ dài miền Trung Tây phục vụ cho định cư và canh tác trong những năm qua đã đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng đối với thức ăn cho ngựa. Đến năm 1879, sản lượng cỏ khô toàn quốc của Mỹ đạt 35 triệu tấn, một con số đã tăng gần gấp ba thành 97 triệu tấn vào năm 1909. Hơn một

nửa diện tích đất ở New England cũng được dành cho rơm vào năm 1909, và ít nhất 22 bang thu hoạch cỏ khô và thức ăn gia súc trên hơn một triệu mẫu đất mỗi năm.^[11] Cơ giới hóa nông nghiệp Mỹ với máy móc ngựa kéo hoặc chạy bằng sức ngựa hỗ trợ cho sự bành trướng rộng lớn này.

Lượng nước và thức ăn mà ngựa thành phố tiêu thụ tương ứng với lượng nước tiểu và phân hằng ngày chúng thải ra. Một con ngựa làm việc thải ra khoảng một gallon nước tiểu hằng ngày và 13-23 kg phân. Khối lượng đó đã lấp đầy đường phố New York hằng ngày với khoảng bốn triệu pound và một trăm nghìn gallon nước tiểu phải được dọn sạch. Khi không được xử lý, đường phố đô thị biến thành bãi sinh lầy.



Ép rơm khô, phiên bản đầu của máy ép rơm. Một thanh nằm ngang dùng sức ngựa nén rơm khô vào phễu thành các khối chặt.

Phân đô thị của cả con người (phân bắc) và động vật, là một sản phẩm phụ có giá trị của thành phố trong suốt những thập niên đầu và giữa thế kỷ 19. Bộ phận vệ sinh môi trường thành phố thu thập phân ngựa từ chuồng và bán nó cho nông dân địa phương, những người sẽ sử dụng nó để bón cho các khu vườn, đồng cỏ, và những cánh đồng nơi họ trồng lương thực, cỏ khô và ngũ cốc cung cấp cho thành phố.



Phố Morton gần Phố Bedford ở khu Green Village Village của Manhattan vào năm 1893, ngập trong phân ngựa chưa được thu gom.

Việc cạnh tranh phân bón xuất hiện đầu tiên ở Anh vào năm 1840, khi một loại vật liệu khác, ít c ồng k ềnh hơn, rẻ hơn và giàu dinh dưỡng hơn phân ngựa xuất hiện ở thị trường này. Nhà thám hiểm người Phổ kiêm nhà tự nhiên học Nam tước Alexander von Humboldt đã giới thiệu đến châu Âu loại vật liệu này, guano - phần chim biển khoáng hóa - mà lần đầu tiên ông tiếp xúc ở Peru vào năm 1802 trong một chuyến thám hiểm tới Nam Mỹ. Humboldt thấy chúng trên xà lan cập cảng tại Callao. Nó có mùi amoniac mạnh đến nỗi Humboldt hắt hơi liên tục mỗi khi ông đi gần nó. Hàng núi guano bao phủ một số đảo ngoài khơi Peru. Tên của nó bắt nguồn từ chữ *wanu* trong ngôn ngữ Quechua của người Anh-điêng.^[12] Humboldt không thể tin rằng một số lượng lớn khoáng vật như vậy là từ những con chim. Ông cho rằng thứ vật liệu này hình thành bởi một quá trình tương tự như sự hình thành của than.^[13]

Trở về châu Âu vào năm 1804, Humboldt đã gửi một mẫu guano cho hai nhà hóa học ở Paris để phân tích. Một cách độc lập, Humphry Davy cũng nhận được một mẫu từ Nam Mỹ thông qua Hội đồng Nông nghiệp Anh năm 1805 và đã thử nghiệm nó. Ông đánh giá nó là “một loại phân bón cực mạnh,” nhưng nghĩ rằng thời tiết mưa nhiều của Anh “có xu hướng phá hoại chất lượng của nó” do nước lọc bỏ nito.^[14] Các nhà hóa học Pháp báo cáo rằng mẫu guano của Humboldt có một phần tư trọng lượng của nó là acid uric, có lẫn một phần amoniac, đầu là hai nguần nito; acid oxalic, kết hợp một phần với amoniac và kali; acid phốtphoric; và một phần nhỏ kali sunfat, kali clorua, chất béo, và cát thạch anh màu rỉ sét.^[15] Phân bón hóa học hiện đại thường chứa tỉ lệ khác nhau của nito, kali và phốt pho. Đây là một loại phân bón tự nhiên có chứa các yếu tố quan trọng cho sự tăng trưởng thực vật cao hơn hẳn so với phân ngựa. Tác dụng của loại phân bón này trên cây trồng vẫn chưa được đánh giá trọn vẹn; và Peru, nằm phía xa của Nam Mỹ, lại là nơi các thị trường châu Âu khó tiếp cận. Humboldt chuyển qua các nghiên cứu khác, và kho báu guano này vẫn chưa được khai phá, ngoại trừ những người nông dân Peru vẫn theo phương pháp trồng trọt từ thời người Inca.

Các bài giảng về nông nghiệp của Davy, được tập hợp lại dưới dạng sách và xuất bản vào năm 1813, đã trở thành một cuốn sách bán chạy toàn quốc tế, với các ấn bản được xuất bản ở London, Paris, Berlin, Milan, New York và Philadelphia. Tuy nhiên, trong thập niên tiếp theo, những cuộc chiến của Napoléon I với Tây Ban Nha và Bồ Đào Nha nối tiếp với các cuộc chiến tranh giành độc lập ở khu vực châu Mỹ thuộc Tây Ban Nha và Bồ Đào Nha đã trì hoãn việc thương mại hóa guano cho đến khi có một sự kiện vào cuối những năm 1820.

Năm 1824, nhà báo John Stuart Skinner của Maryland đã kiếm được một nguần cung cấp guano. Skinner là chủ sở hữu và biên tập viên của tuần báo *American Farmer*, và là một người tâm huyết với nông nghiệp và phân bón của Mỹ. Tàu USS *Franklin*, chiến hạm 74 khẩu súng của hạm đội Thái Bình Dương, đã ghé qua các đảo thuộc Peru trước khi dừng chân bảo trì ở Philadelphia vào tháng 8 năm 1824. Thuyền trưởng tàu *Franklin*, một nhà tự nhiên học nghiệp dư, đã gửi cho Skinner một bộ sưu tập hạt giống từ hệ thực vật đảo Thái Bình Dương cùng với hai thùng guano của Peru. Skinner chia và phân phối guano tới người quen làm nông nghiệp của ông

để dùng thử. Một trong số họ là một chính trị gia nổi tiếng, đã tuyên bố chất liệu đó là “thứ phân bón mạnh nhất ông từng thấy đối với ngô Bắc Mỹ.”^[16] Mặc dù có sức mạnh lớn lao như vậy nhưng thiên thời của nó ở nước Mỹ vẫn chưa đến. “Những người trồng trọt hoặc thầy kệ các mẫu phân bón đã gửi cho họ,” trích tiểu sử của Skinner, “hoặc sử dụng thứ phân bón quý giá này phản khoa học đến mức không thể nhận thấy tác dụng tốt của nó.”^[17]

Một bác sĩ và nhà tự nhiên học người Thụy Sĩ, Johann Jakob von Tschudi, đang thám hiểm Peru vào năm 1840 để nghiên cứu cổ vật, biết đến các hòn đảo có guano và đã ghé thăm trong năm đó. Ông đủ sắc sảo để đánh giá về guano một cách chuẩn xác:

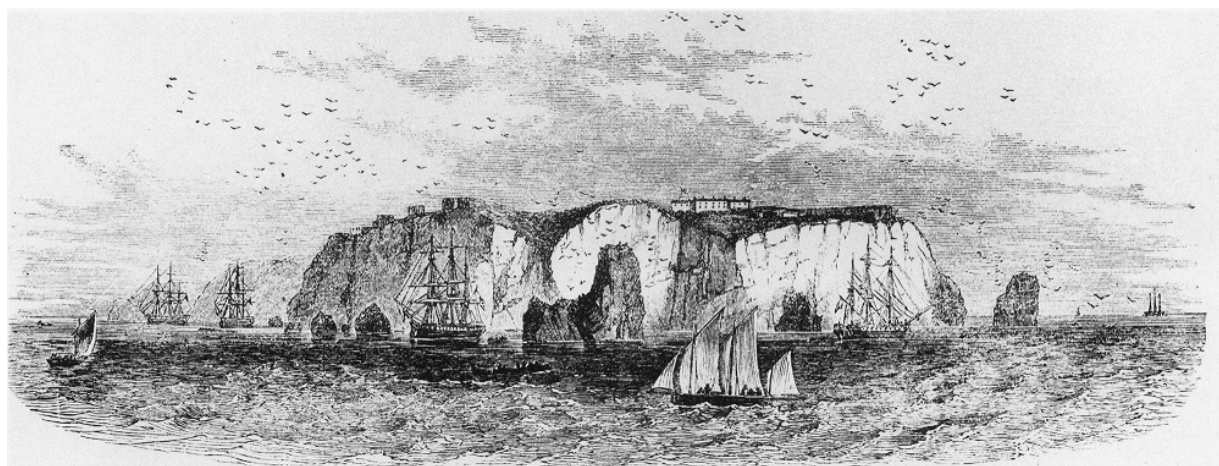
Hàng đàn vô tận của loài chim này [chim cốc guanay, *Phalacrocorax bougainvillii*] bay dọc theo bờ biển như những đám mây. Khi nói đến số lượng đông đảo của chúng, sự phàm ăn phi thường, và ngu ồn thức ăn dãi dào của chúng, người ta không khỏi sửng sốt với lượng guano khổng lồ tích lũy không bị gián đoạn hàng nghìn năm qua... Những con chim này liên tục lao xuống biển, nuốt chửng những con cá bơi hàng đàn lớn quanh các đảo. Khi một hòn đảo có hàng triệu con chim biển sinh sống, mặc dù hai phần ba guano có thể rơi mất trong khi bay, thì vẫn có một khối lượng đáng kể được tích lũy trong một năm.^[18]

Tschudi đánh giá những đồng guano mà ông thấy dày từ 10 đến 12 mét, nhưng đó là đánh giá quá thấp. Các phép đo cẩn thận được thực hiện vào năm 1853, khi guano đã được khai thác trong một thập niên, xác định độ sâu guano tối đa trên quần đảo Chincha là 45 mét.^[19] “Người ta nói rằng,” theo lời một sử gia, “... những hòn đảo tỏa ra mùi hôi thối dữ dội đến nỗi họ khó mà tiếp cận được.”^[20] Các nhà đi đầu tra hiện đại đã kết luận rằng những đồng guano này có niên đại từ giữa thiên niên kỷ thứ nhất trước Công nguyên.^[21]

Năm 1840, nhờ sự nghiên cứu và công bố trong nhiều năm của Humphry Davy, một thị trường cho guano từ Peru bắt đầu phát triển ở Anh. Đến năm 1844, Justus Liebig, một nhà hóa học người Đức nổi tiếng ở Anh, đánh giá guano, “dù mới được đưa vào Anh, đã... được ứng dụng phổ thông và rộng rãi.”^[22] Hàng chục nghìn tấn guano mỗi năm bắt đầu được

khai thác từ ba hòn đảo guano chính, Bắc, Trung và Nam Chincha, mỗi đảo là một khối đá granit phẳng dài không quá 0,8 km với hàng tầng tầng lớp lớp guano chất lên nhau cao vượt trội so với bề mặt đảo.

Làm việc với cuộc xẻng từ bờ vào trong tâm đảo và từ trên xuống dưới, những người khai thác tạo ra những vách đá màu vàng nhạt nhìn từ xa như tuyết bần. Một nhà quan sát người Đức đã so sánh chúng với “một đĩa gỗ đen mà trên đó có một miếng pho-mát vĩ đại màu vàng - đang bị cắt ra.”^[23] Một cuộc khảo sát được thực hiện vào năm 1854 đã kết luận rằng khối lượng guano ban đầu trên ba hòn đảo có tổng cộng không dưới 13 triệu tấn thiếu (11,4 triệu tấn chuẩn), dưới những ngọn đồi phủ đầy những gì mà một người đi đầu tra gọi là “một chiếc áo khoác thủy tinh guano rực rỡ,” hay một lớp vỏ canxi photphat.^[24]



Đảo Bắc Chincha: Những người khai thác Guano làm việc từ trên xuống và tu bờ biển vào trong để thu hoạch các lớp guano, tạo thành những mũi guano rắn chắc như đá.

Một nhà quan sát khác vào năm 1854 phát hiện thấy bề mặt guano “giống như đất khô nhẹ và đầy những lỗ” mà chim biển cào ra để làm tổ và trú ẩn. Bề mặt này “gây khó khăn khi đi bộ, không thể chắc chắn rằng bước thêm một bước sẽ không khiến ta chìm gần đến đầu gối.” Tuy nhiên, sâu vài centimét dưới bề mặt, guano “trở nên cứng lại và từ đó đến hết độ dày, nó đặc chắc như bánh xà phòng Castile.”^[25]

Một tác dụng phụ khủng khiếp của việc vận chuyển guano đến châu Âu là việc mang theo mầm bệnh mốc sương từ Peru đến Ireland (*Phytophthora infestans*) tàn phá khoai tây của Ireland, nguồn thực phẩm chính cho quốc gia nghèo khó với tám triệu người này. Giữa năm 1845, khi

nạn mất mùa khoai tây lần đầu ập đến, và năm 1860, hơn một triệu người Ireland chết vì đói. 1,5 triệu người khác di cư, hầu hết chạy sang Mỹ. Các tàu chở guano đã mang theo bệnh dịch này từ Peru, có lẽ là từ khoai tây bị nhiễm bệnh được đưa lên tàu làm thức ăn cho thủy thủ đoàn.^[26]

Đến năm 1883, quần đảo Chincha đã cạn kiệt kho báu tự nhiên này, guano bị khai thác và chuyển đến Anh, châu Âu và Mỹ. Thứ phân bón mạnh mẽ đó bắt đầu quá trình chuyển đổi nông nghiệp từ phân động vật địa phương sang hóa chất công nghiệp, và thay thế phân ngựa ở các thành phố của Anh và Mỹ. Như vậy, nó đã biến một sản phẩm phụ có lợi nhuận của giao thông đô thị thành một thứ phiền toái đắt đỏ mà các thành phố phải trả tiền để chở đi nơi khác. Gánh nặng gia tăng khi dân số thành phố gia tăng: London, từ 3 triệu người năm 1860 lên 7 triệu người vào năm 1900; Thành phố New York, từ 516.000 người năm 1850 lên 3,4 triệu người vào năm 1900; Boston, từ 137.000 lên 561.000; Philadelphia, từ 121.000 lên 1,3 triệu; và Chicago, từ 30.000 lên 1,7 triệu. Khối lượng rác thải đô thị tăng lên cộng với phân ngựa càng khiến thách thức này khó khăn hơn.

Khoa học vệ sinh đô thị vào những năm cuối của thế kỷ 19 mới bắt đầu biết đến các vật trung gian vô hình của bệnh tật, tập trung vào rác thải như dấu hiệu cảnh báo, nhất là ruồi. Trước đó, ruồi đã được coi là có sức hút và thân thiện tuyệt vời, chứ không phải là loài dọn rác. “Những chú ruồi thông thường dường như luôn vo ve vui đùa,” một người quan sát đã viết vui vào năm 1859, “chúng đuổi theo nhau và nhảy những vòng tròn ham chơi dưới tia nắng mặt trời.”^[27] Đến cuối thế kỷ 19, theo báo cáo từ các bác sĩ về sức khỏe cộng đồng, ruồi từ một loài côn trùng thân thiện trở thành mối đe dọa cho sức khỏe và tổ ấm gia đình... Sự nguy hiểm của nó đã bị cường điệu tới mức đôi khi nó trở thành một sát thủ lão luyện như muỗi truyền bệnh sốt vàng và sốt rét. Các quan chức y tế tìm cách biến ý niệm về mầm bệnh thành một thứ vũ khí thiết thực và dễ hiểu cho phòng chống bệnh tật. Để làm điều này, họ miêu tả ruồi là thứ mầm bệnh có chân.”^[28] Ruồi, dĩ nhiên, bâu đầy vào phân ngựa; ấu trùng ruồi lấy thức ăn từ đó. Cục trưởng Cục sâu bệnh thuộc Bộ Nông nghiệp Mỹ ước tính vào năm 1895, phân ngựa có mặt khắp nơi chính là nguồn phát sinh 95% tổng số ruồi ở Mỹ.^[29]

Bước ngoặt thực sự để từ bỏ phương tiện giao thông kéo bằng ngựa đã diễn ra nhờ vào sự xuất hiện của xe điện cuối những năm 1880. Frank

Julian Sprague, kỹ sư điện miền Tây được đào tạo tại West Point, đã lắp đặt hệ thống xe điện đường phố thương mại đầu tiên ở Richmond, Virginia, vào năm 1887. Ông đã tóm tắt những đặc điểm của nó trong một bài giảng cho các kỹ sư đường nghiệp trong cùng năm đó, nhấn mạnh vào lợi thế vệ sinh:

Việc đi xe điện dễ dàng hơn nhiều so với bất kỳ xe cáp hoặc xe ngựa nào, khởi động và dừng lại dễ dàng hơn, chưa kể đến không lo bị lắc lư và tròng trành. Xe điện sạch hơn nhiều. Chúng có thể được chiếu sáng rực rỡ, và chúng có thể được làm nóng bằng điện. Không có bụi từ vó ngựa. Các điều kiện vệ sinh được thay đổi hoàn toàn, do đó sức khỏe và sự thoải mái của toàn dân được bảo đảm. Chuồng ngựa với tất cả sự khó chịu của nó cùng sự giảm giá trị kèm theo của bất động sản liền kề sẽ biến mất.^[30]



Con ru ồi hoạt hình khắc họa hình ảnh “màn bệnh có chân.” Cái vòi có chữ “tra tấn”; con dao vấy máu có chữ “thương hàn”; dấu chân có chữ “bẩn thỉu.”

Xe điện thúc đẩy sự sinh lợi của bất động sản: với tốc độ gấp đôi ngựa, nó mở rộng phạm vi vận chuyển đi lại xa gấp bốn lần ra khỏi nông thôn, cung cấp cơ hội đầu tư có lợi nhuận vào bất động sản ngoại thành. Một

năm sau khi hệ thống của Sprague bắt đầu hoạt động ở Richmond, Massachusetts, nhà đầu cơ đất đai là Henry Whitney và Charles Francis Adams II, chủ tịch đầu tiên của Liên minh Đường sắt Thái Bình Dương, bắt đầu xây dựng một đường xe điện chạy từ bất động sản Brookline của họ đến trung tâm Boston. Kết quả là, theo Whitney, giá cổ phiếu Brookline của ông trong bốn năm gần đây đã tăng thêm 20 triệu đô-la (524 triệu đô-la ngày nay).^[31]

Bước sang thế kỷ mới, xe điện đã thay thế phần lớn việc sử dụng ngựa trong giao thông công cộng. Ngựa tiếp tục cung cấp sức kéo công cộng, giao hàng hóa, và sản xuất năng lượng quy mô nhỏ. Trên thực tế, số lượng ngựa đô thị tăng chứ không giảm.^[32] Chỉ có sự phát triển của động cơ đốt trong và ứng dụng của nó để cung cấp năng lượng cho xe hàng và ô tô trong giai đoạn 1900-1915 mới thay thế ngựa đô thị bằng phương tiện giao thông cơ khí. Trong quá trình chuyển đổi, sử gia Ann Norton Greene đã phát hiện ra rằng, động vật từng đại diện cho những hủ tục kiên nhẫn, khiêm tốn của nhân loại, trong thời khắc của những con ruồi đang biểu diễn những vũ điệu vui vẻ, bỗng được miêu tả là “thứ súc sinh vô ơn ngang bướng. Ngựa báo ơn chăm sóc của con người bằng cách đá, lờn lên, và gây tai nạn.” Một tạp chí mới nổi tiếng được thành lập vào năm 1895 mang tên *Horseless Age*, chuyên về ô tô, tuyên bố rằng “hiếm khi một ngày trôi qua mà không có người vô tội nào bị giết hoặc bị thương trong cơn hoang dại của những con thú không thể chế ngự này... Những tai nạn đáng sợ này hoàn toàn có thể được ngăn chặn. Xe cơ giới sẽ làm đi đầu đó.”^[33]

Cuối cùng, xe cơ giới đã làm được đúng như vậy. Tuy nhiên, không phải ô tô mà là xe điện nội đô và nối giữa các thành phố đã mở ra mối quan hệ cộng đồng ngấm bắt đầu phân tách các khu ngoại ô trung lưu khỏi khu vực của tầng lớp lao động. Thế kỷ mới sẽ là điện, mặc dù điện sẽ được tạo ra bằng than bần thay vì thủy điện sạch. Thế kỷ 20 không sáng bừng rực rỡ như các tờ báo lạc quan dự đoán, một thế giới hiện đại khoác lên diện mạo mới mẻ nhưng cũng là thế giới nơi khói sương vẫn nhuộm đen bầu trời đô thị.

CÁC CỘT KHÓI ĐEN

Ở đâu có lửa, ở đó có khói. “Các thị trấn đông đúc của chúng tôi ngoài những ngọn lửa nhà dân nay có thêm những đám mây đen mà xưởng sản xuất đổ lên không trung như thể không khí là của riêng họ vậy,” John W. Graham, một nhà toán học người Anh và nhà hoạt động thuộc Hiệp hội Giáo hữu đã viết vào năm 1907.^[1] Trong tất cả các năm kể từ khi than bắt đầu thay thế gỗ làm chất đốt gia dụng, cho nhà máy, trạm điện, động cơ đường sắt, bầu không khí đã trở thành của chung, ai cũng dùng được. Tiêu thụ gỗ đạt đỉnh ở Mỹ ở mức 70% vào năm 1870. (Nó đã đạt đỉnh điểm ở nước Anh trước đó một thế kỷ.^[2]) Ba mươi năm sau, năm 1900, than cung cấp 70% nhu cầu năng lượng của Mỹ và tiêu thụ gỗ giảm.^[3] Khoảng 80% người dân sống trong các thị trấn của chúng ta phải sống dưới một tầng khói đen,” nhà hoạt động người Anh than thở. Tỷ lệ này vẫn chưa đáng gì tại một nước Mỹ vẫn chủ yếu theo nông nghiệp, nhưng các thành phố lớn thì đã có thừa khói bụi.”^[4]

Thời nay có thể khó hình dung mức độ ô nhiễm khói của thành phố vào cuối thế kỷ 19. Sương mù quang hóa, sự kết hợp của oxid nitơ và chất hữu cơ dễ bay hơi điển hình của thời đại ô tô, vẫn chưa phải là hung thủ chính. Từ sương khói (smog) xuất hiện vào năm 1905 là sự kết hợp giữa khói (smoke) và sương (fog). Khói từ đốt than, đặc và màu nâu hoặc màu đen, là chất ô nhiễm đặc trưng đương thời. Ở các thành phố dễ bị thay đổi thời tiết, nó có thể biến ngày thành đêm tối.

Tuy nhiên, khói ban đầu không được coi là một mối nguy hiểm độc hại. Với các nhà công nghiệp thế kỷ 19 và nhiều công dân trung lưu cũng vậy, khói than là cái giá của sự tiến bộ, “một hệ quả tất yếu và vô hại,” trích lời một sử gia. “Môi trường không ô nhiễm khói vẫn được nhiều người coi là một mục tiêu không tưởng, và những người phản đối thường bị coi là

những kẻ khó chịu, quấy rầy những người làm việc tốt: ‘những kẻ kỳ quặc hòa nhã và viễn vông.’”^[5] Ngay cả Gifford Pinchot, nhà bảo tồn nhiệt huyết đồng thời là giám đốc đầu tiên của Sở Lâm nghiệp Mỹ, cũng tin rằng than đá là “huyết mạch sống còn của nền văn minh này.”^[6]



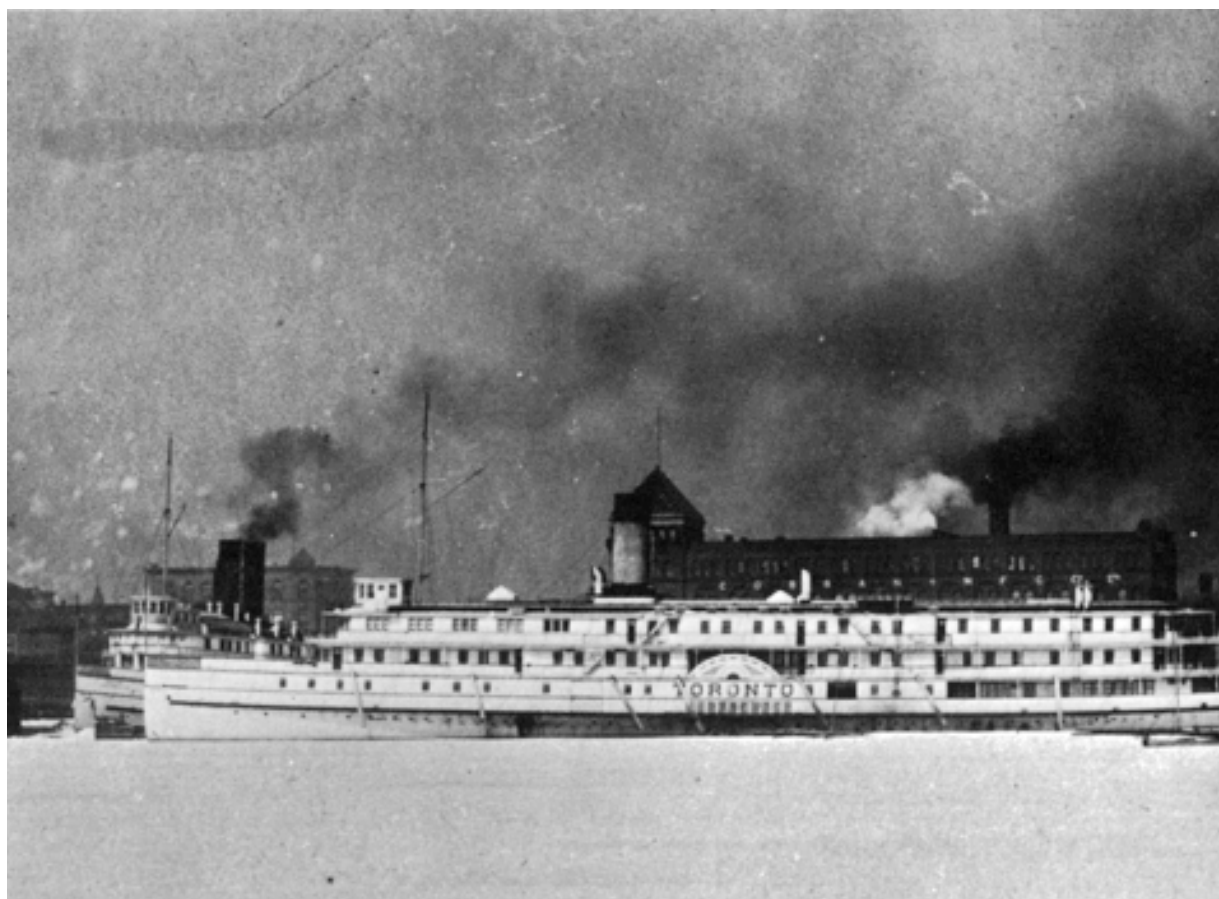
Sương mù tháng 11 vào ban ngày ở London khoảng năm 1872. Trẻ em đường phố cung cấp dịch vụ cầnn đuợc soi đuờng.

Vị thanh tra khói năng nổ của Chicago từ năm 1894 đến năm 1897, Frederick Upham Adams, một nhà cải cách xã hội sinh ra ở New York kiêm nhà phát minh, nhà báo, và tiểu thuyết gia, chia dân số Chicago thành hai nhóm: “những người tạo ra thứ khói phiênn toái” và “những người bị buộc phải chịu đựng nó.” Theo ông, những người tạo khói đã kiên quyết rằng “khói là thứ không thể thay thế, là thứ đi đôi của uy quyền thương mại và sản xuất ở Chicago,” và “khói đó không chỉ không có hại cho sức khỏe mà còn là một chất khử trùng.” Đối thủ của họ tuyên bố ngược lại rằng khói mù “làm tăng đáng báo động các bệnh vềhọng, phổi và mắt,” và “làm hỏng thảm, tranh vẽ, vải vóc, phủ đầy bồhóng lên mặt tiênn của các tòa nhà, và biến bầu trời thành biển khói.” Có 15.000 n ấi hơi trong nội thành thời đó, Adams lưu ý, ít nhất 12.000 n ấi đốt than m ềm. Chúng rải rác trên 480 km², và khiến cho không có cây cỏ nào còn cùng màu với nhau.^[7]

Con người chết với số lượng lớn hơn vì khói lưu cữu, nhưng tỉ lệ tử vong cao thường được gán cho thời tiết mùa đông lạnh thay vì bởi tác hại của khói đến phổi. Cái lạnh sương giá hắnn mới là sứ giả th ầnn chết chứ sao là khói đượcn, người ta sống với khói từ ngày này qua ngày khác mà có chết đượcn đâu.^[8] ”Than tràn ngập mọi ngócn ngách của các thành phố công nghiệp Mỹ,” sử gia David Stradling viết. “Mọi tầng lớp cư dân nhìn thấy nó, cầnn nó, mua nó, và ngửi khói bụi của nó. Người dân biết phân biệt than tốt than xấu và loại nào đốt tốt nhất trong lò của họ. Họ biết tên của các mỏ và khu vực khai thác đã dán nhãn cho những viên kim cương đen mà họ sản xuất. Chủ nhà trung lưu mua than theo tấn và cất trong thùng dưới tầng h ầnn. Người lao động nghèo mua theo xô và sử dụng một cách tiết kiệm trong bếp lò của họ cho sưởi ấm và nấu ăn. Người nghèo dưới đáy xã hội bới tro rác để tìm kiếm các mẩu than chưa cháy hoặc nhặt đường ray tìm than rơi ra từ toa tàu.”^[9]

Than và khói của nó, giống như ngựa và phân của chúng, là những thứ thường nhật đã biến mất khỏi cuộc sống hiện đại trong các xã hội công nghiệp hiện đại. Để hình dung đượcn khói than vào đầu thế kỷ này đã hủy hoại các thành phố của Mỹ và Anh như thế nào thì ô nhiễm không khí ở Bắc Kinh, Trung Quốc ngày nay là một sự so sánh tương đương. Nó cũng nhắc nhở ta rằng xã hội phát triển trước nhất và sau đó, khi nhu cầnn thường

nhật của công dân của họ không được đáp ứng, ô nhiễm mới được xử lý. Trong Triển lãm Thế giới ở Chicago năm 1893, chính quyền tạm thời chuyển sang sử dụng dầu nhiên liệu (qua đường ống từ Lima, Ohio) cho phát điện để giảm ô nhiễm khói trên các khu hội chợ. Tương tự, Bắc Kinh đóng cửa các nhà máy để giảm ô nhiễm khói tại thời điểm Thế vận hội Olympic mùa hè 2008.^[10]



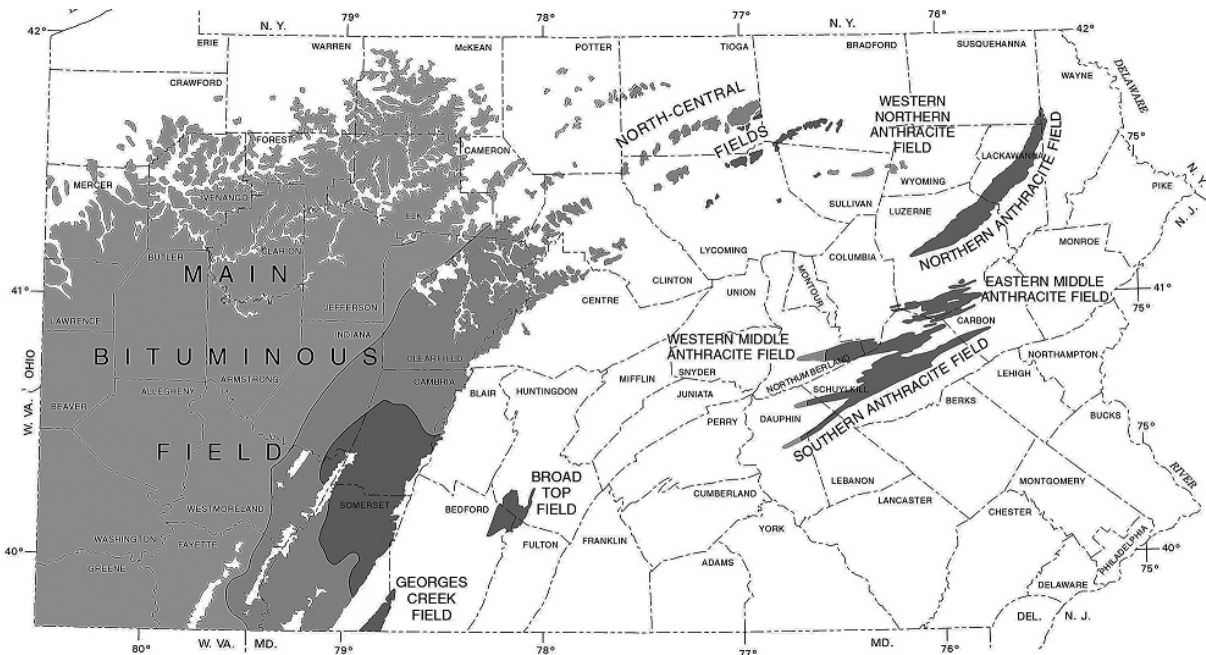
Quang cảnh khói giữa ban ngày ở Toronto, Canada, năm 1904, nhìn từ bến cảng vào thành phố.

Người Mỹ khai thác hai loại than: than mỡ mềm, nhiều bồ hóng, khoảng 60% đến 70% carbon; và than anthracite sạch, cứng, 92% đến 98% carbon. Vì nồng độ tạp chất cao, than mỡ sinh nhiều khói; còn than anthracite đốt sạch. Một khu vực giàu anthracite được biết đến ở Mỹ nằm ở phía đông Pennsylvania, trước khi những khu khai thác nhỏ hơn xuất hiện ở Colorado và New Mexico. Khi người dân ở các thành phố phía đông đã học được cách đốt than anthracite trong lò sưởi - nó cũng cần một cái giá chân cao để giữ lửa cháy - dân ở đây sẵn sàng trả giá cao cho thứ than cứng này. Ngành thương mại than phát triển ở phía đông nước Mỹ

trong khoảng thời gian từ năm 1820 đến năm 1860 chủ yếu là than anthracite. Do đó, Boston, New York và Philadelphia tương đối sạch hơn các thành phố của Anh, mặc dù các chất ô nhiễm từ luyện kim, giết mổ và các ngành công nghiệp khác tiếp tục gây ô nhiễm không khí và nguồn nước của họ.

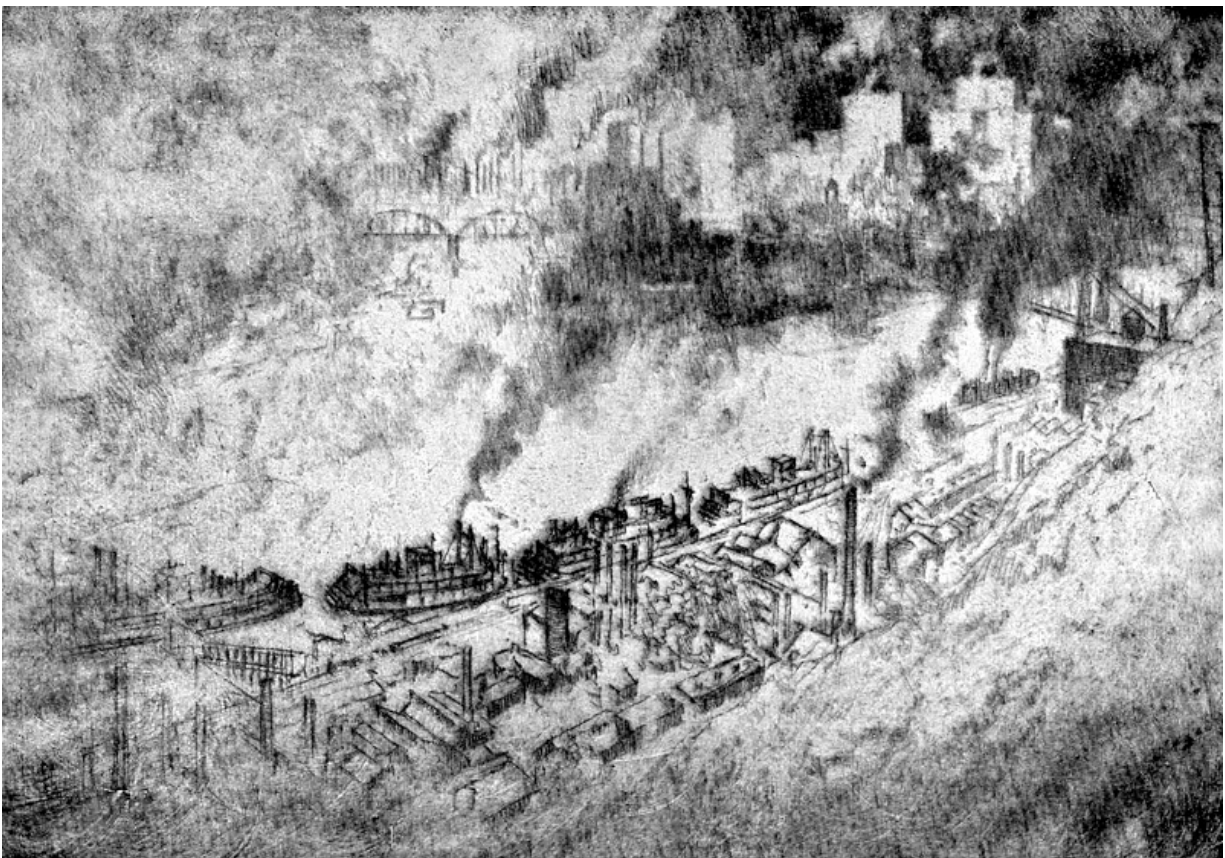
Trong số các thành phố của Mỹ, Pittsburgh là nơi khói mù nhất, một phần vì địa lý, một phần vì ngành công nghiệp nặng. Tiểu thuyết gia Victoria Trollope, đến thăm Canada và Mỹ vào năm 1861, đã kết luận Pittsburgh là “nơi tối tăm nhất mà tôi từng thấy.” Cảnh ở đây “đẹp như tranh vẽ,” Trollope nghĩ, “những ngọn núi trải xuống thị trấn, dòng sông rộng và chảy xiết.” Pittsburgh nằm dưới chân dãy Allegheny, trong một thung lũng sâu nơi hai con sông gặp nhau, là lý do khiến thành phố ứ đọng khói: “Ngay cả màu đen bản thủy và kỳ lạ của nơi này vẫn đẹp như tranh vẽ khi nhìn từ trên cao xuống. Người ta vẫn có thể trông thấy mái nhà thờ, và một số của các tòa nhà lớn hơn có thể được trông thấy một phần qua lớp khói dày, màu nâu lằng lằng. Nhưng chính thành phố bị chôn vùi trong một đám mây dày đặc.”^[11]

Sự xuất hiện của than mỡ trong các đỉnh núi đó đã khiến dân Pittsburgh chuyển từ gỗ qua than vào đầu thế kỷ 19, sớm hơn nửa thế kỷ so với cư dân các thành phố khác ở Mỹ. “Dân số thấp,” theo một sử gia người Pennsylvania, “nhân công cũng ít, và thời gian là quý giá ở các thị trấn phía tây sầm uất. Than khai thác từ Đồi Than, nhìn ra Pittsburgh, có thể được vận chuyển bằng xe ngựa đến tận cửa với giá chỉ năm xu một gia.



Vùng than của Pennsylvania. Vùng xám ở phía tây là than mỡ; vùng tối về phía đông là than anthracite, hiếm hơn nhưng tương đối không khói.

Mô hình này đủ rõ và tiện lợi hơn nhiều so với việc tự lấy gỗ.”^[12] Kết quả này, đối với Trollope, là một cảnh quan đen đúa rõ ràng khiến ông thích thú: “Tôi không bao giờ yêu được khói và bụi bần nữa, ông tiếp tục mô tả tình trạng ở Pittsburgh vào năm 1861, “khi tôi đứng đây và nhìn bóng tối của đêm đen kéo đến gần từ muội than lơ lửng trên những đỉnh nóc nhà thành phố. Tôi không thể nói rằng tôi đã thấy mặt trời lặn, vì mặt trời đã không xuất hiện hôm đó. Tôi nên nói rằng mặt trời không bao giờ chiếu sáng tại Pittsburgh, kể từ khi những người nước ngoài đến thăm London vào tháng 11 tuyên bố rằng mặt trời không bao giờ chiếu sáng chốn này nữa.”^[13] Ông gọi là “cánh cửa địa ngục đã mở ra.”^[14]



Pittsburgh quan sát từ Đ ỏ Than năm 1910, g ần như bị khói che khuất hẳn.

Charles Dickens, Arthur Conan Doyle và Robert Louis Stevenson, giữa vô số cây viết khác, đã lấy cảm hứng từ ô nhiễm khói để tô màu cho bầu không khí của các tác phẩm văn học cuối thời Victoria ở London của họ. Nhân vật luật sư, người dẫn chuyện trong tác phẩm kinh dị của Stevenson *Strange Case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde* (Bác sĩ Jekyll và ông Hyde), khi Ở London trên đường đến nhà Jekyll để tìm hiểu một vụ giết người, đã đi qua “một tấm áo choàng màu sô cô la vĩ đại rủ xuống từ thiên đường.”^[15] Mối liên hệ giữa khói với sự rối loạn đạo đức đã nở rộ ở Mỹ khi các nhà hoạt động cho quyền lợi của tầng lớp trung lưu tìm cách biện minh cho việc coi nhẹ vấn đề này vào thời điểm mà các bệnh cấp bách hơn - các bệnh nhiễm qua đường nước và không khí như thương hàn, kiết lỵ và các bệnh khác - trở thành ưu tiên của các quan chức y tế.

Bà John B. Sherwood, chủ tịch năm 1909 của Câu lạc bộ Phụ nữ Chicago, hoàn toàn chắc chắn về mối liên hệ giữa này. “Lớp voan khói đen của Chicago,” bà nói với các thành viên câu lạc bộ trong một bài phát biểu năm đó, “đã che khuất mặt trời và làm cho thành phố đen tối và ảm đạm,

chịu trách nhiệm cho hầu hết các vụ giết người thấp kém, bắn thủ và những tội ác khác trong địa phận thành phố. Một thành phố bản là một thành phố suy đ ể, bởi vì các giống bản sản sinh ra đ ể bại. Do đó khói và b ồ hóng là suy đ ể.” Đối với bà Sherwood cũng như đối với nhiều người Mỹ ngày nay, con số các vụ giết người có vẻ lớn hơn những con số thực tế: ba nguyên nhân hàng đầu gây tử vong ở Mỹ vào năm 1900 là viêm phổi (202 người chết trên 100.000 dân), bệnh lao (194 người chết trên 100.000 dân) và tiêu chảy/viêm ruột (143 người chết trên 100.000 dân).^[16] Ngược lại, tỉ lệ giết người ở Mỹ năm 1900 chỉ là 1,2 người chết trên 100.000 dân, mức thấp lịch sử.^[17] (Tỉ lệ năm 2016 là 4,9 người chết trên 100.000 dân.)

Pittsburgh đã thoáng xuất hiện một tương lai khác hơn trong những thập niên cuối thế kỷ 19 khi khí đốt tự nhiên xuất hiện để cạnh tranh trong một thời gian ngắn với than. Khí đốt tự nhiên là sản phẩm phụ thường xuyên của việc khoan giếng nước mặn và dầu từ thời giếng Drake năm 1859 và trước đó. Ngoài phục vụ ứng dụng địa phương như làm muối, không ai biết phải làm gì với nó một khi nó đã đẩy dầu mỡ ra khỏi lòng đất. Các nhà sản xuất thường đốt nó đi. “Các giếng khí tự nhiên thường bị bỏ hoang khi không phát hiện được dầu,” sử gia David A. Waples cho hay, “để cho thoát khí tự do. Nếu đốt cháy một cách có chủ đích hoặc vô tình bởi ma sát, sét hoặc bất cẩn, chúng sẽ cháy trong nhiều tháng hoặc nhiều năm.”^[18]

Vấn đề với khí đốt tự nhiên luôn là làm thế nào để cung cấp nó từ giếng cho khách hàng, với áp lực phù hợp. Khí đốt nhân tạo do nhà máy cung cấp có lợi thế của việc sản xuất được kiểm soát và đặt ở gần, từ đó nó có thể được dẫn như nước với áp suất được kiểm soát. Khí đốt tự nhiên cần đường ống phân phối từ đầu giếng đến điểm sử dụng, và công nghệ xây dựng các đường ống chống rò rỉ có thể cung cấp khí có áp suất tự nhiên khác nhau qua nhiều dặm của các khu vực đang phát triển một cách chậm chạp. Các đường ống dẫn khí ban đầu ở Pennsylvania được đúc bằng gang, vắn lại với nhau và hàn kín. Sắt tinh luyện thay thế gang trong thập niên cuối thế kỷ 19.^[19] Nhưng khí đốt tự nhiên rẻ hơn than nhiều và sức nóng của nó đ ầu hơn, những phẩm chất khiến nó trở nên hấp dẫn đối với quá trình gia nhiệt ở Pittsburgh với nhiều nhà máy thủy tinh và nhà máy thép. Công ty Sắt miền Tây Vĩ đại là công ty đầu tiên ở khu vực Pittsburgh sử dụng khí đốt tự nhiên vào khoảng năm 1870.^[20] Nhiều nhà sản xuất

khác theo sau. Đến năm 1885, Pittsburgh đã có hơn 800 km đường ống dẫn khí tự nhiên.^[21]

Các nhà sản xuất khí đốt nhân tạo, với chi phí khí đốt cao hơn so với khí đốt tự nhiên khiến họ không đủ triển vọng cạnh tranh và quay sang tìm tòi đổi thủ mới. Một câu chuyện mà họ đã nói với ủy ban khí đốt Pittsburgh để thuyết phục họ cấm khí đốt “áp lực cao” trong thành phố, Waples viết, liên quan đến một chủ trại ngựa đã “đánh một que diêm để thắp đèn lồng và khí ga rò rỉ gần đó đã thổi bay [ông ta] 30 feet vào không trung, giết chết một con ngựa và thiêu rụi một tòa nhà.”^[22]

George Westinghouse tham gia kinh doanh khí đốt tự nhiên Pittsburgh vào năm 1884, sau khi ông khoan được một giếng trong khuôn viên dinh thự 32 phòng của mình trong khu vực Homewood giàu có của thành phố. Ông không phải là người đầu tiên, nhưng đến năm 1889, công ty do ông thành lập để khai thác khí đốt tự nhiên đã trở thành nhà sản xuất lớn nhất nước Mỹ. Để đi đầu trong việc phân phối một nguồn năng lượng mới, Westinghouse phải phát minh ra công nghệ cần thiết. Ông đã có 28 bằng sáng chế trong hai năm nỗ lực đầu tiên của mình, Waples ghi chú, bao gồm “những cải cách khoan giếng, đo hệ mét, các phương pháp để ngăn chặn rò rỉ khí, bộ điều chỉnh để kiểm soát không khí và khí trong lò hơi và điều khiển tự động tắt khí khi áp suất giảm, dập tắt lửa.”^[23] Để đi đầu chỉnh áp suất khí từ giá trị đầu giếng cao và không đầu đến giá trị thấp và đủ ổn định cho hệ thống sưởi ấm gia dụng, Westinghouse đã phát minh ra đường ống dẫn khí tương đương với một máy biến áp: ông tăng đường kính của đường ống theo từng nấc khi chúng mở rộng từ đầu giếng đến trung tâm phân phối thành phố để khí được chuyển đổi với lượng lớn hơn nhưng với áp suất thấp hơn, một khái niệm mà sau này ông đã áp dụng cho hệ thống truyền tải điện xoay chiều. Giống như Edison, Westinghouse đã vay mượn các hệ thống từ một công nghệ này và áp dụng chúng ở dạng sửa đổi sang một công nghệ khác.

Khí đốt tự nhiên làm giảm lượng tiêu thụ than ở Pittsburgh từ ba triệu tấn mỗi năm vào năm 1884 xuống một triệu tấn trong thập niên sau đó. Tuy nhiên, nguồn cung cấp khí ở gần đó có giới hạn và khi các mỏ khí cạn kiệt, ô nhiễm khói lại một lần nữa bóp nghẹt thành phố. “Chúng ta đang quay trở lại với khói,” một diễn giả nói với Hiệp hội Kỹ sư Pittsburgh vào năm 1892. “Chúng ta đã có bốn hoặc năm năm trong lành tuyệt vời ở

Pittsburgh, và tất cả chúng ta đều có thể trân trọng sự trong lành đó đến nhường nào.”^[24]

Chút hương vị của sự trong lành là thứ mà mọi thành phố của Mỹ được tận hưởng trong những thập niên đầu thế kỷ 20. Việc hạn chế khói của các thành phố phải bị ngưng lại để tập trung tăng sản xuất công nghiệp trong cả hai cuộc thế chiến. Chỉ khi có các đường ống dài để vận chuyển khí đốt tự nhiên sau Thế Chiến II thì cuối cùng bầu không khí mới được làm sạch.

“Giảm tỉ lệ tử vong,” người tiên phong về sức khỏe cộng đồng ở Mỹ là Hermann Biggs đã viết vào năm 1911, “là biểu hiện và chỉ số thống kê chính của tiến bộ xã hội loài người.”^[25] Năm 1900 tuổi thọ trung bình ở Mỹ là 47,3 năm, thấp hơn tuổi thọ năm 2015 ở Swaziland (49,18 tuổi), thấp nhất theo nghiên cứu của Liên Hợp Quốc so với ở bất cứ đâu trên thế giới.^[26] Các phương pháp và công nghệ mới của thế kỷ 20, bất chấp những cuộc chiến tranh khủng khiếp, đã kéo dài tuổi thọ trung bình ở các quốc gia công nghiệp thêm hơn 30 năm.

PHẦN BA
NHỮNG NGỌN LỬA MỚI

QUÀ TẶNG CỦA CHÚA

Henry Ford đã làm việc cho Thomas Edison trước khi ông lắp ráp chiếc ô tô đầu tiên của mình. Năm 1891, chàng trai Ford hai mươi tám tuổi đã cùng vợ là Clara chuyển từ khu trang trại bang Michigan nơi ông sinh ra đến thành phố Detroit nơi ông đảm nhận vị trí kỹ sư ca đêm cho Công ty Chiếu sáng Edison. Nhiệm vụ chính của Ford là duy trì động cơ hơi nước phát điện cho khu trung tâm Detroit. Với kinh nghiệm từ trang trại và trải qua thời gian học nghề tại một công ty đóng tàu hơi nước cho khu vực Ngũ Đại Hồ, ông đã nắm vững về động cơ hơi nước. Đến năm 1893, Công ty Chiếu sáng Edison đã thăng chức ông thành kỹ sư trưởng.

Sau khi chuyển đến Detroit, Ford bắt đầu chế tạo chiếc ô tô đầu tiên ở nhà xưởng mà ông đã dựng lên trong một nhà kho bằng gạch phía sau ngôi nhà hai tầng của mình. Ông gọi nó là xe bốn bánh (quadricycle) và nó giống một chiếc xe đạp bốn bánh có động cơ hơn là một chiếc ô tô. Với một động cơ xăng đốt trong bốn kỳ, hai xi-lanh công suất bốn mã lực được lắp đặt dưới băng ghế sau, bánh lái đi đầu hướng, và không có phanh, nó chỉ nặng vỏn vẹn 227 kg.^[1] Ông mất ba năm để thiết kế và lắp đặt nó, hoàn toàn bằng tay. (“Ford ngày ấy đang làm việc trong một thế giới không có các bộ phận ô tô,” một trong những người viết tiểu sử về Ford nói vui.^[2]) Chiếc xe bốn bánh chính thức ra khỏi xưởng - sau khi mở rộng khung cửa gạch chật hẹp bằng búa tạ - vào lúc 2 giờ sáng một ngày mưa tháng 6 năm 1896.



Henry Ford tạo dáng trên chiếc ô tô đầu tiên của mình, cỗ xe bốn bánh nặng 227 kg xuất xưởng vào tháng 6 năm 1896. Động cơ nhỏ, dẫn động bánh sau, được gắn phía sau ghế ng ồi.

Ford không phải là nhà phát minh duy nhất chạy đua chế tạo xe không ngựa vào những năm 1890. “Đây luôn là niềm tin của tôi,” ghi chép của Hiram Percy Maxim, người chế tạo xe ô tô là con trai của người phát minh ra súng máy, “rằng tất cả chúng ta bắt đầu phát minh xe chạy bằng động cơ xăng cùng một lúc bởi vì rõ ràng là nền văn minh của chúng ta đã sẵn sàng cho phương tiện cơ khí.”^[3]

Vào năm 1896, chỉ có khoảng 300 ô tô lưu thông ở Mỹ, có thể kể tên như Pillion Steam Car, Lambert Gasoline Buggy, Gottfried Schloemer Motor Wagon, Ellis, Duryea, Pioneer, Black, Perry Louis Electric, Columbia Electric Runabout, Balzar Quadricycle, DeLaVergine Six-Passenger, DeLaVergine Dos-a-Dos, Hartley Steam Fourseater, Benton Harbor Autocycle, Riker Electric Tricycle, Hart Runabout.^[4] Như tên của

chúng ngụ ý, một số là xe điện hoặc hơi nước; các xe khác, động cơ đốt trong, được cung cấp nhiên liệu khác nhau như khí đốt nhân tạo, xăng, cồn, dầu hỏa, chất lỏng cháy hoặc hỗn hợp nhiên liệu. Loại động cơ nào và nhiên liệu nào sẽ chiếm ưu thế vẫn chưa được xác định. Stanley Steamer là xe bán chạy nhất ở Mỹ vào năm 1898. Hai năm sau, sử gia Rudi Volti ghi lại, “trong số 4.192 chiếc xe được sản xuất tại Mỹ năm 1900, có 1.681 chiếc là xe hơi nước, 1.575 chiếc là xe điện và chỉ có 936 chiếc sử dụng động cơ đốt trong.”^[5]

Không chiếc nào trong số các thiết kế đa dạng này có cấu tạo giống với ô tô hiện đại. Động cơ làm mát bằng không khí của họ thường ẩn dưới ghế hoặc treo dưới khung gầm phía sau. “Xe ngựa là tiêu chuẩn,” Maxim nhớ lại, “và bất cứ điều gì khác biệt đều bị dè bủ.”^[6] Ngay cả khi được nguy trang, những chiếc xe vẫn làm cho đám ngựa trên đường phố và đường quê giật mình. Connecticut yêu cầu người lái xe cơ giới tấp vào lề đường và dừng động cơ nếu có người lái ngựa đang đến gần giờ tay lên, và tiếp tục chờ đợi đến khi cỗ xe ngựa đã đi qua. “Tôi chắc chắn rằng trong những ngày đầu, chúng tôi tiêu tốn nhiều thời gian trấn an lũ ngựa bằng với thời gian chạy xe,” Maxim phàn nàn.^[7]

Động cơ đốt trong phát triển từ động cơ hơi nước. Cả hai đều sử dụng khí nóng giãn nở trong một xi-lanh kín để cung cấp năng lượng. Khí trong một động cơ hơi nước là hơi nước, được tạo ra bên ngoài bằng cách đun nóng nước trong nồi hơi và được đưa qua một van vào xi-lanh, nơi nó nở ra và đẩy vào piston kết nối với một thanh truyền chuyển động bên ngoài động cơ để quay một cặp bánh xe. Động cơ kéo hơi ban đầu rất nặng, nhưng những động cơ được thiết kế đối với ô tô, đặc biệt là động cơ của anh em Stanley, cặp song sinh sáng tạo đến từ Maine, thì rất nhẹ và hiệu quả: lò hơi trên chiếc Stanley Steamer chỉ nặng 40 kg và động cơ của nó chỉ nặng 16 kg.^[8]

Những chiếc xe hơi đầu tiên khởi động chậm, cần mười phút hoặc lâu hơn để tạo ra lượng hơi nước cần thiết. Điều đó đã thay đổi vào cuối thế kỷ với việc bổ sung đèn mồi lửa duy trì hơi nước trong các điểm dừng. Xe hơi đòi hỏi phải dừng lại để tiếp nước hao phí vào không khí thay vì thu hồi lại, đòi hỏi phải có điểm dừng mỗi 30 hay 50 km để tiếp nước. Xe hơi có thể sử dụng máng uống công cộng mà các thành phố duy trì cho ngựa của họ. Máng nước cũng rất sẵn ở nông thôn.

Những tay lái thích thử thách thấy những cỗ xe hơi rất khó vận hành. “Cỗ xe huyền thoại Stanley Steamer được thiết kế với nhiều đồng hồ đo cần thường xuyên kiểm tra,” như Volti mô tả, “mức nước nồi hơi, áp suất hơi nước, áp suất nhiên liệu của bể chính, áp suất nhiên liệu của bể mồi, kính quan sát dầu và mực nước trong bể. Riêng khởi động đã cần tới 13 van, đòn bẩy, tay cầm và máy bơm.”^[9] Các hệ thống đi kèm khiến Steamer, trở trêu thay, hoạt động đơn giản hơn nhiều so với động cơ đốt trong của nó: Steamer hoàn thiện chỉ có 72 bộ phận chuyển động, bao gồm cả bốn bánh của nó.^[10]



Anh em nhà Stanley, cặp song sinh cùng trứng, trong chiếc Stanley Steamer năm 1898 của họ, nhẹ hơn 45 kg so với chiếc Quadricyle của Ford.

Động cơ đốt trong, so với động cơ hơi nước, có thể được khởi động bằng cách quay một tay quay để vận hành các piston và tạo ra tia lửa. (Đây

là công việc khó khăn, đặc biệt trong thời tiết lạnh, một lý do nữa khiến nhiều phụ nữ thích xe điện.) Khi động cơ quay, nhiên liệu - xăng hoặc cồn, hoặc hỗn hợp cả hai - theo chu kỳ được phun vào xi-lanh, nơi nó được nén rồi đánh lửa, cháy lên, nóng lên và giãn nở để đẩy một piston nối với một tay biên, sau đó một lần nữa, truyền chuyển động ra bên ngoài động cơ để quay một cặp bánh xe.

Chiếc xe điện đơn giản hơn: một hộp pin, một mô tơ điện và cần gạt hoặc bàn đạp để điều khiển tốc độ mô tơ. Vấn đề của nó ngoài việc phải sạc thường xuyên và tốn thời gian, giống như ngày nay, là công suất tương đối thấp: vì pin nặng, công suất cao hơn phải được đánh đổi với thời lượng pin. Điện là lý tưởng cho việc lái xe trong thành phố, sạch sẽ và yên tĩnh, tương đương về mặt cơ học với một con ngựa hay xe độc mã. Nhưng với ít cơ sở hạ tầng để sạc điện ngoài thành phố, nó không thích hợp cho thú vui lái xe hoặc du lịch đường dài.

Có một người đam mê xe điện từ rất sớm ở Philadelphia, Pedro Salom, đã dự đoán điện là vượt trội và sẽ thắng thế xe động cơ đốt trong. “So sánh về thiết kế [của xe điện],” ông nói với khán giả tại Viện Franklin vào năm 1895, “với thiết bị lái cực kỳ phức tạp của một cỗ xe chạy bằng xăng, với vô số dây xích, dây đai, ròng rọc, đường ống, van và khóa, vân vân, thì cần đặt câu hỏi: Như vậy có thực tế không? Có hợp lý không khi cho rằng với rất nhiều phụ tùng có thể hỏng hóc, thì chẳng phải không chỗ này cũng chỗ khác sẽ thường xuyên bị hỏng hay sao?”^[11]

Salom lên án sự ô nhiễm từ động cơ đốt trong, “khói mòng với mùi rất độc hại.” Ông đưa ra hình ảnh hàng nghìn cỗ xe như vậy trên đường phố, mỗi chiếc đều thải ra một cột khói nùng nặc như một sự hi sinh để cho thay thế những con ngựa già, và xem xét liệu một hệ thống như vậy có ích lợi chung hay khả năng thích ứng hay không!”^[12] Bản thân Pedro Salom đã cân nhắc câu hỏi đó. Câu trả lời của ông là không.

Động cơ hơi nước và động cơ điện có thể được vận hành trơn tru từ không tải đến hết công suất mà không cần hệ thống truyền động. Nhưng để vận hành mà không bị chết máy, các động cơ đốt trong không tải phải có tốc độ ít nhất 900 vòng quay mỗi phút, và, ở hiệu suất tối đa, ở mức 2.000 vòng/phút trở lên, đi đâu đó có nghĩa là chúng cần hệ truyền động (hộp số) để giảm số vòng quay được chuyển đến bánh xe.^[13] Với hệ truyền động cũng như với các động cơ phức tạp hơn, chúng đòi hỏi khắc khe hơn (và

đắt tiền) để chế tạo và vận hành hơn các hệ thống khác. Cũng không dễ để học cách phối hợp bộ côn ly hợp và chuyển số trên cái được gọi sau này là tiêu chuẩn truyền động. Lúc đầu, Maxim viết, “khi hộp số lạch cạch thì đó là bằng chứng cho thấy thiết kế của tôi không tốt.” Sau này, khi đủ người nắm vững quy trình lái, đạp côn và sang số cùng một lúc, bất cứ ai quên đạp côn và lạch cạch sang số thì sẽ bị chế nhạo và coi là không đủ năng lực để lái xe.”^[14]

Mỗi loại hệ thống năng lượng xe đầu có đại diện tiêu biểu và kẻ ngáng đường. Tại sao động cơ đốt trong chiếm ưu thế là một chủ đề mà các sử gia về công nghệ đã tranh luận từ lâu. Hầu hết các tranh cãi đầu tiên liên quan đến cơ sở hạ tầng: các hệ thống cần thiết phục vụ cho một công nghệ và hỗ trợ nó. Xe điện chỉ được vận hành trong nội đô vì vùng nông thôn chưa được điện khí hóa không có trạm sạc. Động cơ hơi nước và đốt trong thường có thể tìm nhiên liệu trong cửa hàng sơn địa phương hoặc cửa hàng tạp hóa, một phần vì xăng đã được sử dụng làm chất tẩy rửa và dung môi, một phần là do nông dân đã sử dụng động cơ xăng để vận hành mọi thứ từ máy giặt đến xay ngũ cốc.

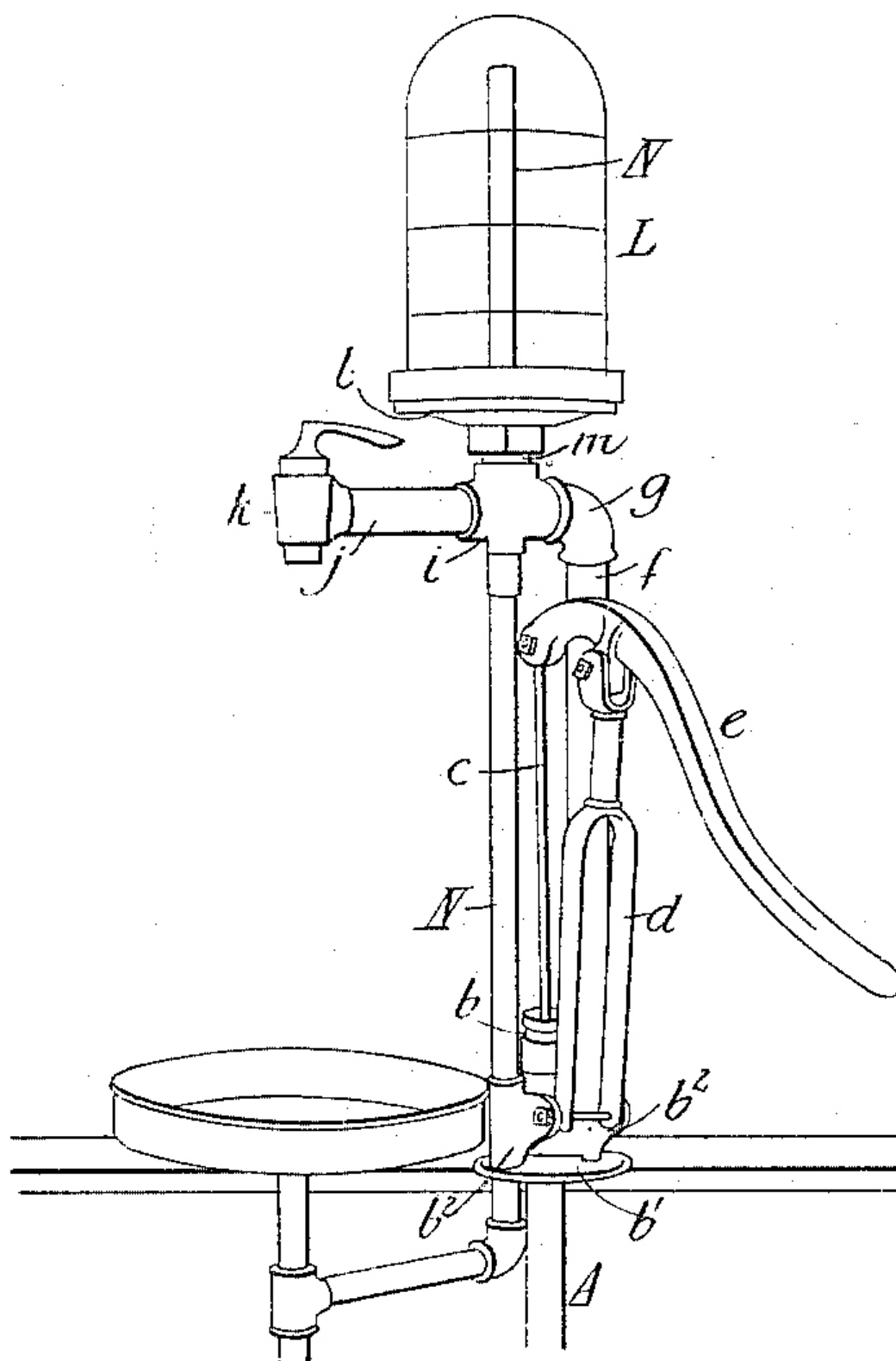
Chỉ ít thì với một đơn vị sản xuất xe hơi nước: Công ty Stanley Motor Carriage ở Newton, Massachusetts, lợi thế đó đã mất vào năm 1914, khi dịch bệnh lở mồm long móng chết người trong số các động vật trang trại ở New England bùng phát đã khiến các quan chức thú y đóng cửa nhiều máng nước công cộng dọc theo phía đông những con đường nơi xe hơi nước hay tiếp nước.^[15] Massachusetts vốn đã không có thiện cảm gì với những đám mây hơi nước chúng thải ra, che khuất tầm nhìn của người đánh xe đằng sau, đặc biệt là trong thời tiết lạnh. Để giải quyết vấn đề đó, Stanley đã phát triển thiết bị ngưng mới cho động cơ của mình, nhưng việc kinh doanh đã sụp đổ. Thiệt hại là không thể cứu vãn.

Đến năm 1914, động cơ đốt trong đã hiện diện trên cánh đồng. Stanley và các công ty xe hơi nước khác đã lắp tổng cộng vốn vẹn 1.000 xe một năm, so với tổng số 569.000 xe của các nhà sản xuất ô tô thông thường của Mỹ.^[16] Có 1,7 triệu xe cơ giới được đăng ký tại Mỹ vào năm 1914, so với mốc 8.000 xe vào năm 1900. Ô tô lần đầu tiên áp đảo số ngựa ở Thành phố New York vào năm 1912 và sự chênh lệch đã lan rộng khắp thập niên đó.^[17] Đến thập niên 1920, ngựa biến mất trong nhóm tiêu thụ thức ăn vật

nuôi với tốc độ nửa triệu một năm.^[18] Ngoại trừ dịch vụ giao hàng tại địa phương, ngựa cuốn gói khỏi đô thị và không bao giờ trở lại.

Việc thay thế ngựa bằng ô tô khiến nông dân nghèo hơn. “Bằng cách sử dụng năng lượng được sản xuất bằng xăng thay vì ngựa ăn ngô và rơm,” một nhà kinh tế nông thôn đã viết vào năm 1938, “chúng ta đã tước khỏi nông dân một thị trường khổng lồ của nhiều triệu mẫu ruộng.”^[19] Đây là hậu quả không lường trước được, nông dân mất một nguồn thu nhập chính, trong khi thế giới mất đi một nguồn năng lượng tái tạo, thay vào đó là một nguồn tài nguyên hóa thạch ở mức độ không xác định cùng những ảnh hưởng không dự đoán trước được.

Mọi sự có thể đã khác. Rượu mạnh trở lại thị trường vào năm 1906 khi chính phủ liên bang dỡ bỏ thuế rượu thời Nội Chiến cũ khiến nó không cạnh tranh lại với dầu hỏa. Cần cạnh tranh với xăng làm nhiên liệu ô tô trong ba thập niên đầu của thế kỷ 20. Henry Ford đã thiết kế xong chiếc xe sản xuất dây chuyền đầu tiên của mình, Model T, với hệ thống nhiên liệu kép: nó có thể chạy bằng xăng hoặc rượu, một tính năng mà Ford tiếp tục giữ đến năm 1931.^[20] Một núm đồng thau ở bên phải của vô lăng Model T cho phép người lái điều chỉnh bộ chế hòa khí để điều tiết nhiên liệu. Một cần gạt điều chỉnh tia lửa điện bên trái tay lái sẽ điều chỉnh thời gian của bugi đánh tia lửa, cần phải đánh lửa vào mỗi điểm khác nhau trong chu kỳ động cơ, tùy thuộc vào loại nhiên liệu.^[21] Nông dân, Ford nghĩ, có thể tự làm rượu. Những người lái xe trong thành phố có thể mua xăng tại một trong những trạm đổ nhiên liệu bên đường với máy bơm đo lưu lượng do nhà phát minh John J. Tokheim sáng chế.



Bơm đo lưu lượng Tokheim, được cấp bằng sáng chế ngày 2 tháng 1 năm 1900, bơm nhiên liệu dự trữ trong một bể chứa an toàn dưới lòng đất vào một bình kính trong, nơi nó có thể được đo rồi đổ vào bình xăng.

Ngay cả khi không phải chịu thuế, cầ n vẫn có chi phí sản xuất cao hơn xăng, đặc biệt vì nó thiếu một chuỗi cung ứng từ trang trại đến nhà máy lọc hiệu quả như các đường ống và đường ray của ngành công nghiệp dầu mỏ độc quyền của Rockefeller. (Đến năm 1882, tập đoàn Standard Oil Trust kiểm soát 85% thị trường dầu thế giới, một lý do vì sao Tòa án Tối cao Mỹ năm 1911 ra lệnh chia nhỏ tập đoàn.^[22]) Giống so sánh gỗ với than ở London thời Elizabeth, chi phí vận chuyển cầ n bất lợi hơn so với xăng. Cầ n sẽ cầ n đến sự hỗ trợ của chính phủ để phát triển như là một nhiên liệu thay thế. Nhưng nó có lợi thế trước mắt và đáng giá là làm chất phụ gia.

Chỉ số octan của nhiên liệu là một thước đo về mức độ nó có thể được nén trước khi sức nóng của lực nén đốt cháy nó. Ví dụ như chỉ số octan tại trạm bơm xăng của Mỹ ngày nay dao động từ 87 đến 93. Cầ n nguyên chất có chỉ số octan là 105. Xăng trong những năm đầu của kỷ nguyên ô tô được gọi là “xăng trắng” - chưng cất đơn thuầ n mà không có chất phụ gia - có chỉ số octan chỉ khoảng 50. Xăng trắng là đủ cho các động cơ nén thấp đòi đầ u, nhưng động cơ nén thấp không hiệu quả và yếu.

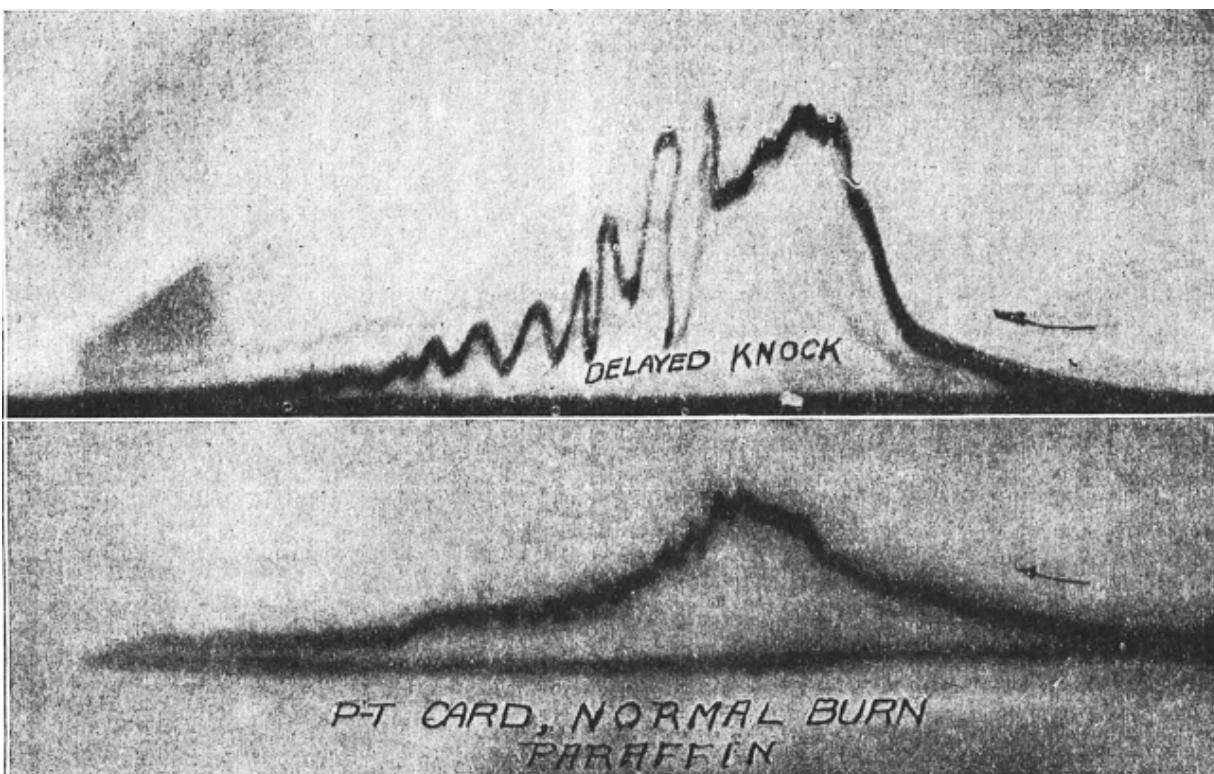
Một động cơ nén cao hơn có thể cung cấp năng lượng cho một chiếc xe lớn hơn, cho quãng đường sử dụng dài hơn do đó tiết kiệm nhiên liệu. Hoặc nó có thể nhỏ hơn, tiết kiệm trọng lượng. Nhưng việc nén mạnh hơn bởi hỗn hợp nhiên liệu và không khí được bơm vào xi-lanh vào một thể tích nhỏ hơn, để nó đẩy mạnh hơn và lâu hơn trên piston khi nó bốc cháy - khiến khí trắng cháy không đúng lúc trong chu kỳ và hao phí năng lượng. Từ ghê lái vẫn sẽ nghe được tiếng *cộc cọc* bên trong xi-lanh của một vụ nổ bất thường và phá máy.

Tiếng gõ trong động cơ đã trở thành một vấn đề nghiêm trọng vào khoảng năm 1913, khi nhu cầ u sử dụng xăng tăng lên khiến doanh nghiệp tinh chế dầu duy trì khối lượng bằng cách chưng cất dầu thô nhiề u hơn vào sản phẩm, giảm trị số octan của nó xuống thêm.^[23] Kỹ sư tin rằng tiếng gõ trong động cơ là kết quả của sự đánh lửa non của nhiên liệu, suy ra chính quá trình nén là vấn đề. Không ai biết chắc chắn, vì khó để biết những gì đang diễn ra bên trong các xi-lanh của động cơ vận hành với tốc độ hàng nghìn vòng quay mỗi phút. Nếu động cơ đốt trong chạy xăng là nguồ n năng lượng chủ yếu cho ô tô, vấn đề nhiên liệu và thiết kế động cơ cầ n được giải quyết triệt để.

Năm 1916, vấn đề về tiếng gõ động cơ đã thu hút sự chú ý của một kỹ sư có sức sáng tạo rất cao tên là Charles F. Kettering, người sau này sẽ trở thành phó tổng giám đốc nghiên cứu tại General Motors. Sinh năm 1876 tại một trang trại phía bắc Ohio trong một gia đình gốc Alsace và Scotland-Ireland, Kettering cao lớn, mạnh mẽ và thông minh nhưng vướng phải những vấn đề về mắt khiến ông gần như không thể học đại học. Ông vẫn vượt khó tốt nghiệp được với sự giúp đỡ của các bạn cùng lớp đọc chữ cho khi đôi mắt của ông quá đau. Ông tốt nghiệp Đại học bang Ohio với bằng kỹ sư điện khi hai mươi bảy tuổi.

Kettering là một người thí nghiệm giỏi và là một nhà phát minh xuất sắc. Cho tập đoàn National Cash Register, ông đã phát triển máy tính tiền chạy điện đầu tiên, chạy bằng một mô tơ điện mô men xoắn cao loại nhỏ. Cho Cadillac, vào năm 1911, dựa trên kinh nghiệm với máy tính tiền, ông đã phát minh ra bộ phận khởi động điện - một loại mô tơ điện mô men xoắn cao khác. Phát minh đó lần đầu tiên mở ra thị trường ô tô cho nhiều phụ nữ, những người gặp khó khăn khi khởi động một chiếc xe với tay quay.

Năm 1916, Kettering và cộng sự trẻ Thomas Midgely Jr., một kỹ sư cơ khí, đã tấn công trực diện vào vấn đề tiếng gõ trong động cơ. Họ thiết kế một cửa sổ trên xi-lanh của động cơ họ sử dụng trong phòng thí nghiệm để nghiên cứu và ghi lại tiếng gõ động cơ với một camera tốc độ cao tự chế. Chưa một ai từng nhìn vào bên trong một xi-lanh đang vận hành trước đây. Họ phát hiện ra rằng nó giống như phiên bản thu nhỏ lại giống quá trình cracking⁽²⁵⁾ trong bể chưng cất dầu. “Tôi muốn các bạn hãy ghi nhớ điều này,” Kettering nói với các kỹ sư ô tô vào năm 1919, “nếu nung dưới áp suất và nhiệt độ cao sẽ tạo ra sự phân hủy của các phân tử [dầu mỏ] trong quá trình cracking, thì điều tương tự có thể xảy ra với nhiên liệu trong động cơ xăng.”^[24]



Làm biểu đồ chu trình gõ trong động cơ (trên) so với đốt nhiên liệu bình thường (dưới). Đồ thị đọc từ bên phải sang trái.

Dầu thô là một hỗn hợp đa dạng của một số loại dầu và chất béo khác nhau, dầu cũng dễ hiểu do dầu là vật liệu biến đổi từ cơ thể của động vật phù du và tảo lắng đọng trong các đại dương nông cổ đại và trên các thềm lục địa, bao phủ với trầm tích rồi trở thành đá trầm tích. Trong nửa thứ hai của thế kỷ 19, khi dầu mỏ lần đầu tiên được tinh chế thành dầu hỏa và chất bôi trơn, nó được chưng cất như rượu whisky: đun sôi trong bể chưng cất, hơi bốc lên chạy qua một đường ống lạnh để làm mát chúng trở lại thành chất lỏng, xăng “vô dụng” bị vớt đi, và dầu hỏa được thu thập. Việc chưng cất đơn giản không hiệu quả: năm 1910, khi các nhà máy lọc dầu muốn sản lượng xăng tối đa cho thị trường nhiên liệu ô tô đang bùng nổ, tỉ lệ xăng tốt nhất họ có thể nhận được từ dầu mỏ của chỉ khoảng 13%.^[25] (Tỉ lệ này ngày nay vào khoảng 40 đến 45%.)

Nhu cầu xăng cao hơn từ nguồn cung dầu thô hữu hạn ở Mỹ khuyến khích cải tiến công nghệ. Một kỹ sư dầu khí tên là William M. Burton, tốt nghiệp Đại học Johns Hopkins và bắt đầu làm việc trong ngành lọc dầu vào năm 1890, đã phát triển bước tiến lớn đầu tiên cho công ty Dầu Standard ở Indiana. Quá trình Burton, cracking nhiệt, vượt ra ngoài việc đun sôi dầu

mở giản đơn và đưa sản phẩm chưng cất để đun sôi ở mức nhiệt độ và áp suất cao hơn nhiều. Công ty Dầu Standard đã mở nhà máy lọc dầu đầu tiên sử dụng quy trình cracking nhiệt Burton vào tháng 1 năm 1913. “Bể chưng cất của công ty được vận hành ở 95 psi và 750°F,” một nhóm các sử gia về dầu mỏ ghi chép, “và lượng xăng thu được tăng gấp đôi.”^[26] Sản lượng lớn hơn và các sản phẩm khác nhau sẽ trở nên khả thi với việc sử dụng các chất xúc tác để phá vỡ một số sản phẩm chưng cất được phân tách bằng cracking nhiệt và tập hợp chúng lại theo những sự kết hợp phần tử mới.

Kettering và Midgely đã nghiên cứu vấn đề tiếng gõ động cơ trong sáu năm. Khi đã hiểu nguyên do, họ nhận thấy giải pháp chính không phải là thiết kế lại động cơ mà là nâng trị số octan của nhiên liệu. Cách tốt nhất để cải thiện nhiên liệu ô tô là trộn cồn có trị số octan cao với xăng. Cồn và xăng không trộn lẫn trừ phi cồn hoàn toàn không có nước, nhưng chúng sẽ trộn đều nếu có thêm thành phần thứ ba là benzen, một hydrocarbon chưng cất từ than đá. Một hỗn hợp cồn 30% hoặc 40% với xăng và một ít benzen sẽ làm cho động cơ kêu nhẹ. Kettering và Midgely gọi giải pháp đó là “phụ gia có tỉ lệ phần trăm cao.”^[27] Đến năm 1918, quy trình được cấp bằng sáng chế, nhưng không được áp dụng.^[28] Nó sẽ là phương án dự phòng, trong trường hợp họ không tìm thấy gì tốt hơn. Phụ gia tuyệt vời là vậy, nhưng cồn cũng có điểm yếu riêng.

Cồn nhiên liệu có sẵn sau năm 1906 để phát triển như một chất phụ gia xăng. Tuy nhiên, như ngày nay, nó được chưng cất chủ yếu từ ngô (không phải loại chúng ta ăn tại bàn mà là loại thô hơn để già đến khô cứng và nghiền thành bột ngô làm thức ăn chăn nuôi). Và giá ngô nói chung đã tăng từ năm 1900 đến năm 1917 thì tụt, sau đó tăng trở lại từ năm 1920 đến năm 1925, năm Kettering và Midgely nghiên cứu cồn làm chất phụ gia. Giá dầu mỏ và ngô có xu hướng di chuyển lên xuống cùng nhau, có nghĩa là thêm cồn nhiên liệu có nguồn gốc từ ngô vào xăng sẽ làm tăng giá xăng vốn đã tăng rồi.^[29]

Nông dân cũng không quan tâm nhiều đến việc trồng ngô để chuyển đổi thành cồn nhiên liệu khi họ đang giàu có nhờ trồng ngô làm thức ăn cho động vật. Động vật vỗ béo được dùng làm thực phẩm cho dân số ngày càng phi nông nghiệp cùng với nước Mỹ đô thị hóa. Nền nông nghiệp của Mỹ trong những thập niên đầu tiên của thế kỷ 20 những năm từ năm 1900 đến năm 1914 thịnh vượng đến mức được gọi là “Thời đại hoàng kim của

nông nghiệp Mỹ,” thời kỳ giá trị của nông sản cao nhất trong hơn 100 năm nay.^[30] Nông dân coi sản xuất c̣n như là một sự thay thế trong thời gian thu nhập giảm, không phải trong thời kỳ thịnh vượng. Điều đó làm cho ngũ cốc không đáng tin cậy để làm ngụn nguyên liệu thô cho nhiên liệu ô tô.

Mặc dù quan tâm đến c̣n nhiên liệu, Kettering nghi ngờ liệu rằng trang trại Mỹ có thể sản xuất đủ để đáp ứng nhu cầu ô tô ngày càng tăng hay không. “C̣n công nghiệp có thể được đi đầu chế từ các sản phẩm rau quả,” ông nói vào năm 1921, “[nhưng] tổng sản lượng c̣n công nghiệp chiếm ít hơn 4% nhu cầu nhiên liệu, và nếu nó thay thế xăng, hơn một nửa tổng diện tích trang trại của Mỹ sẽ là c̣n thiết để trồng nông sản nhằm sản xuất loại c̣n này.”^[31] Đơn xin cấp bằng sáng chế xăng pha c̣n tỉ lệ phần trăm cao được đệ trình vào năm 1918 có bao gồm, nhưng không xác định rõ ràng, c̣n nhiên liệu. Thay vào đó là benzen: 50% benzen và 50% xăng.^[32] Nhưng benzen hầu như không nhiều hứa hẹn hơn so với c̣n nhiên liệu. Toàn bộ sản lượng than năm 1920 của Mỹ nếu được chuyển đổi với benzen sẽ chỉ tương đương với một phần năm lượng cung xăng của năm đó.

Khó khăn lớn hơn đối với Kettering là sự sụt giảm liên tục trong trữ lượng dầu của Mỹ. Một số thành viên của nhóm nghiên cứu của Kettering làm việc với một nhà hóa học hữu cơ của Anh, Harold Hibbert, tại Đại học Yale vào mùa hè năm 1920.^[33] Từ Hibbert, người phát minh ra chất chống đông ethylene-glycol, họ đã biết về khả năng trữ lượng dầu trong nước có thể sẽ cạn kiệt.^[34] Nếu sản lượng dầu thô Mỹ tiếp tục ở mức 443 triệu thùng năm 1920, Hibbert cảnh báo, ngụn cung trong nước sẽ cạn kiệt vào năm 1933. “Người dân thường trong nước có hiểu điều này có ý nghĩa kinh khủng đến nhường nào không?” Hibbert chất vấn một cách văn hóa. Điều đó có nghĩa là, ông tiếp tục giải thích, trong 10-20 năm nữa, Mỹ sẽ phụ thuộc hoàn toàn vào các ngụn bên ngoài để cung cấp nhiên liệu lỏng, “cho máy kéo trong nông trại, phương tiện vận chuyển cơ giới, ô tô, cho việc tạo nhiệt và ánh sáng cho hàng nghìn trang trại nông thôn, sản xuất khí đốt, chất bôi trơn, parafin và hàng trăm công dụng của thứ nhiên liệu thô không thể thiếu này với cuộc sống hằng ngày của chúng ta.”^[35] Không có giải pháp tức thời nào trước mắt, Hibbert cảnh báo, “và có vẻ như trong tương lai khá gần, đất nước này sẽ phải trả một khoản tiền lớn hằng năm để có được ngụn cung dầu thô từ Mexico, Nga và Ba Tư.”^[36]

Tuy nhiên, nhà hóa học Đại học Yale đã có một giải pháp lâu dài để đề xuất: phương pháp thay thế cho nhiên liệu lỏng từ cồn tạo ra “từ ngô và nhiều loại ngũ cốc khác về mặt này, và từ gỗ, về mặt khác.” Ngoài gỗ thừa, còn có các nguồn xenlulozo tiềm năng: thân cây ngô, cây lanh, rong biển. Và ngoài cồn, có dầu đá phiến. Hibbert liếc nhìn một cách thù địch vào Tu chính án XVIII, Lệnh Cấm rượu, bắt đầu có hiệu lực vào ngày 16 tháng 1 năm 1920. Ông gọi đó là “ban hành luật một cách không rõ ràng và nguy hiểm,” khiến việc nghiên cứu của ông trở nên khó khăn bằng cách hạn chế sự tiếp cận với cồn (giống như sự bất hợp pháp của cần sa sau này trong thế kỷ 20 sẽ cản trở nghiên cứu về các dược tính của cần sa). Ông sợ Lệnh Cấm rượu có thể làm tê liệt “cả ngành công nghiệp hóa chất đương thời” và tạo nguy cơ cho vị thế và an ninh quốc gia của Mỹ.”^[37]

Dù đề xuất của Hibbert rất nhìn xa trông rộng - thế giới vẫn đang đương đầu với những thách thức tương tự của ngày nay, từ sự cạn kiệt dầu mỏ, đến dầu đá phiến, đến cồn tái tạo - ông kết luận bằng cách gọi nó là “mơ ước của giới khoa học.” Và mọi người đều bỏ ngoài tai phần lớn các lập luận của ông.

Kettering và Midgley được cấp bằng sáng chế phụ gia tỉ lệ cao của họ, với các vấn đề phức tạp về nguồn cung, họ đã chuyển sang nghiên cứu một phụ gia tỉ lệ thấp. Vào năm 1921, sau một vài năm nản lòng vì không có đột phá nào, họ bắt đầu nghiên cứu các hợp chất của một số nguyên tố của nhóm 16 trong bảng tuần hoàn. Nhóm 16, nhóm oxy, bao gồm oxy là nguyên tố 8, lưu huỳnh là nguyên tố 16, selen là nguyên tố 34, và Tellurium là nguyên tố 52.

Trên một chuyến tàu đến New York vào cuối tháng 2 năm 1921, Kettering đã đọc một câu chuyện trên tờ Associated Press về một giáo sư hóa học ở Wisconsin phát hiện ra rằng hợp chất selenium oxychloride gần như là thứ mà tờ AP gọi là “dung môi vạn năng.”^[38] Câu chuyện kể rằng nó thậm chí đã hòa tan Bakelite, thứ nhựa tổng hợp đầu tiên trên thế giới, mà người bạn và đồng nghiệp người Mỹ gốc Bỉ của Kettering, là Leo Baekeland đã được cấp bằng sáng chế vào năm 1909. Baekeland tuyên bố trong thông báo của mình về nhựa mới, được làm từ acid carbolíc (phenol) và formaldehyde, rằng nó “không thể bị hòa tan trong tất cả các dung môi.”^[39] Hai nhà khoa học từ lâu đã thích một trò đùa ngầm giữa họ về những gì có thể hòa tan, rằng không có vật chứa nào trên thế giới có thể

chứa một dung môi thực sự vụn vặt. Đó là lý do khiến câu chuyện của AP thu hút sự chú ý của Kettering.^[40] Đến Detroit, ông đề nghị Midgley thử nghiệm selenium oxychloride như một chất chống kích nổ hay tạo tiếng gõ.

Oxy và clo đều làm tăng tiếng gõ, nhưng lúc đó Midgley đã tuyệt vọng đến mức có chất phụ gia chống kêu nào ông cũng sẽ đồng ý dùng thử. Khám phá các hợp chất nitơ, ông và nhóm của mình đã thử anilin, một loại thuốc nhuộm từ than đá, nó có kìm nén tiếng gõ nhưng tạo ra khí thải có mùi như cá thối. Selenium hóa ra hoạt động tốt hơn năm lần so với anilin nhưng có mùi như củ cải thối. Di chuyển lên bảng tuần hoàn của những mùi hôi thối này, họ đã thử tellurium. Trong khi nó hoạt động tốt hơn 20 lần so với anilin, nguyên tố này có mùi được ví như “tỏi của quỷ Satan.”^[41] Mùi hôi, một trong số họ nhớ lại, “đã thâm nhập vào cả cơ thể nhóm nghiên cứu và trên quần áo của họ. Họ không thể rửa sạch hết mùi, nước làm cho mùi hôi còn nặng hơn. Mùi tệ đến nỗi bất cứ ai làm việc với tellurium gần như là một kẻ bị xã hội ruồng bỏ.”^[42] May mắn thay cho khứu giác của thế giới, selenium và tellurium quá hiếm để thương mại hóa làm phụ gia trong nhiên liệu động cơ.

Kettering, trong một trong những cuộc nói chuyện về kỹ thuật của mình, đã nói một cách thiếu kiên nhẫn về việc đồng nghiệp của ông có xu hướng khái niệm hóa các hợp chất hóa học một cách trừu tượng. “Luôn luôn có một rắc rối với tất cả các công việc lý thuyết của chúng tôi,” ông cảnh báo họ. “Chúng ta coi [một] phân tử như thể nó chỉ đơn giản là một khái niệm để suy nghĩ và thảo luận.” Ngược lại, ông nói, “những thứ này là vật chất có thật, và sự kết hợp và phân hủy của những thứ này là vật lý thực sự.” Các phân tử là bất cứ điều gì trừ sự trừu tượng. Ví dụ, ông cho biết, “chúng ta càng có nhiều nguyên tử carbon trong các hợp chất thì nhiên liệu sẽ trở nên càng nặng.”^[43]

Quan điểm thực tế đó hiện đã định hướng nhóm Midgley theo đuổi một hợp chất chống tiếng gõ trong động cơ. Một trong những chuyên gia tư vấn của họ, một nhà hóa học ở MIT tên là Robert E. Wilson, đã chỉ cho Midgley một bảng tuần hoàn mà ông xây dựng trên một nguyên tắc tổ chức khác với nguyên tắc tương đồng hóa học của Dmitri Mendeleev. Bảng Wilson nhấn mạnh vào những sự tương đồng hóa học quan trọng đối với hóa hữu cơ.⁽²⁶⁾

“Tom đã rất thích thú với đi ầu này,” Wilson nhớ lại, “đặc biệt là khi ông tin rằng các đặc tính chống gõ của các tác nhân khác nhau chủ yếu là đặc tính của các nguyên tố và ông nhận ra một số dấu hiệu cho thấy tác dụng chống gõ của một nguyên tố có thể dự đoán được với vị trí của nó trong bảng tuần hoàn.”^[44] Quy luật của Midgley về mùi hôi thối ngày càng nặng nề hơn tương ứng với hiệu quả ngăn chặn tiếng gõ ngày càng tăng là đầu mối quan trọng.

Khi họ thí nghiệm lần lượt với các hợp chất nặng hơn vào năm 1921, họ đã lập biểu đồ cho các hiệu ứng chống gõ trên một tấm bảng lớn. “Theo cảm nhận ban đầu của chúng tôi thì dường như đây là một nhiệm vụ vô vọng,” Midgley nhớ lại, “trên phạm vi nhiều năm và tiêu tốn một khoản tiền đáng kể, nhanh chóng biến thành một ‘cuộc săn cáo’. Các dự đoán cuối cùng bắt đầu chính xác thay vì tan biến như bong bóng xà phòng.”^[45] Trong mỗi nhóm của Wilson - các nhóm flo, oxy, nitơ và carbon - việc chống tiếng gõ hiệu quả hơn với số lượng nguyên tử tăng dần. Họ thử thiếc tetraethyl vào cuối tháng 10 với kết quả tốt, nhưng thí nghiệm xa hơn vào tháng 11 lại loại bỏ hợp chất này vì nó gây ra một loại tiếng gõ khác trước khi đánh lửa.

Và rồi họ đến nguyên tử cuối cùng trong nhóm carbon: chì. Chì không hòa tan trong xăng. Đưa chì vào hợp chất chì tetraethyl đã cải thiện khả năng hòa tan của nó. Việc đó không dễ thực hiện, nhưng đến sáng thứ Sáu ngày 9 tháng 12 năm 1921, họ đã sản xuất đủ số lượng để thí nghiệm. T. A. Boyd, kỹ sư tiến hành thử nghiệm, đã nhớ lại buổi sáng một cách sinh động:

Với những người đang làm việc với nỗ lực tập trung xung quanh động cơ [thử nghiệm một xi-lanh], nó chạy bằng nhiên liệu có chứa rất nhỏ lượng chì tetraethyl được thêm vào hoàn toàn theo phỏng đoán. Và động cơ chạy êm ru hoàn toàn không có tiếng gõ. Một lượng nhiên liệu không được xử lý tương đương được đổ vào sau đó, cắt giảm nồng độ của hợp chất mới làm đôi. Vẫn không hề có tiếng gõ. Quá trình giảm một nửa nồng độ chì tetraethyl được lặp đi lặp lại nhiều lần, với người quan sát ngày càng phấn khích sau mỗi lần pha loãng dung dịch. Cuối cùng, tác nhân khử tiếng gõ là chì tetraethyl có hiệu quả gấp 50 lần anilin được sử dụng rất nhiều trong các nghiên cứu trước đó.^[46]

Chỉ khi họ pha loãng xăng pha chì với tỉ lệ 1/1000 thì mới lại tạo ra hiện tượng gõ. Midgley vội vã báo cáo với Kettering, ông nói rằng ngày hôm đó là điếu xúc động nhất trong toàn bộ sự nghiệp nghiên cứu của ông. [47]

Hợp chất mới cần một tên gọi. Vì những lý do không bao giờ được tiết lộ, Kettering đã chọn cái tên “ethyl,” cái tên này gây nhầm lẫn với cầ ethyl và bỏ qua ý nghĩa thực tế rằng nó là một hợp chất hòa tan của chì, từ lâu được biết đến là có độc. [48] Để phân biệt xăng ethyl với khí trắng không chì, họ đã nhuộm đỏ nó - phần vì Midgley ngụ ý trong một báo cáo đề chừng năm 1925 về những tác động độc hại của chì, “đặc biệt cảnh báo về sự nguy hiểm của việc sử dụng nó [so với làm nhiên liệu], chẳng hạn như để rửa các bộ phận động cơ, rửa các bộ phận cơ thể con người, cho mục đích nấu ăn, v.v.” [49]

Nhiều dự án phát triển tiếp theo được tiến hành, Midgley nhớ lại. Họ biết rất ít về khám phá có tính đột phá này. “Chúng tôi bắt đầu chỉ nghiên cứu thêm, nghiên cứu thêm và tìm kiếm các nguyên tố khác để kết hợp với chì tetraethyl, để tạo nên một hợp chất phù hợp cho thương mại.” [50] Trong khi đó, các nhà hóa học hướng đến việc sản xuất sớm. Xăng ethyl đã được bán công khai lần đầu tiên tại một trạm nhiên liệu ở Dayton, Ohio, vào ngày 2 tháng 2 năm 1923. [51] Doanh số bán đã cất cánh khi những chiếc xe ở giải đua Indianapolis 500 năm đó, dùng những động cơ nhỏ hơn so với các giải đua trước đó, đầu dùng xăng ethyl, các xe chiến thắng có vận tốc trung bình gần 150 km/h trên quãng đường đua dài 800 km. [52]

Công ty Standard Oil của New Jersey và General Motors đầu sở hữu bằng sáng chế cho phương pháp sản xuất chì tetraethyl, một hợp chất được biết đến từ những năm 1850. Năm 1924, họ đã hợp tác để thành lập một công ty mới, Công ty Xăng dầu Ethyl, để sản xuất và bán sản phẩm mới. Kettering trở thành chủ tịch công ty; Midgley là phó chủ tịch thứ hai kiêm tổng giám đốc. [53] Đến giai đoạn đó, Standard Oil và DuPont đang sản xuất chì tetraethyl tại hai xưởng sản xuất: Standard ở Bayway, New Jersey; DuPont ở Deepwater, New Jersey. Và các thử nghiệm này chưa gì đã gây tai nạn.

Con người biết chì là một chất có độc từ thời Cổ đại. Nó khiến bản thân Midgley và ba đồng nghiệp khác đổ bệnh vào mùa đông năm 1922-

1923, khiến Midgley phải bỏ ra một tháng ở Florida hồi phục. Kinh nghiệm đó vẫn chưa đủ để cảnh báo ông, rồi một vụ nổ trong phòng thí nghiệm bắn chì vào mắt ông cũng vậy - vụ tai nạn khiến ông phải rửa mắt bằng thủy ngân để lấy chì ra.^[54] Trong bài báo ông xuất bản năm 1925 để bảo vệ phát hiện của mình, ông lưu ý rằng các triệu chứng ngộ độc chì tetraethyl đặc trưng bao gồm “tụt huyết áp, giảm nhiệt độ cơ thể, giảm mạch, mất ngủ, sụt cân, đôi khi buồn nôn, run rẩy, và trong trường hợp nghiêm trọng nhất, chứng mê sảng run rẩy xuất hiện.”⁽²⁷⁾^[55]

Dấu hiệu cực đoan nhất của ngộ độc chì tetraethyl là cái chết đau đớn. Bác sĩ y học công nghiệp tiên phong người Mỹ Alice Hamilton và hai đồng nghiệp đã mô tả sự đau đớn cực độ trong một báo cáo năm 1925 cho *Journal of the American Medical Association (JAMA)*, dựa trên các vụ việc gần đây ở GM và DuPont:

Xuất hiện các triệu chứng của tổn thương não sâu sắc như mất ngủ kéo dài, bồn chồn, nói nhều và hoang tưởng. Dáng đi giống như của người say rượu nhưng không có tê liệt hoặc co giật. Cuối cùng, sau khi tất cả các cơ của cơ thể hoạt động quá mức và đổ mồ hôi, bệnh nhân trở nên điên cuồng dữ dội, la hét, nhảy khỏi giường, đập phá đồ đạc, và hành động như thể trong cơn mê sảng run rẩy; morphine chỉ làm triệu chứng trầm trọng hơn. Bệnh nhân cuối cùng có thể chết trong kiệt sức. Trong hai trường hợp tử vong, nhiệt độ cơ thể người bệnh tăng lên 43°C ngay trước khi cái chết xảy ra. Một trong số đó là một chàng trai trẻ khỏe mạnh cường tráng chỉ mới làm việc được năm tuần. Người ta nói anh ấy đã phải chịu đau đớn khủng khiếp. ‘Chết trong cơn la hét.’^[56]

Một công nhân của DuPont Deepwater bị ngộ độc chì và qua đời vào tháng 9 năm 1923, thêm ba người nữa vào mùa hè và mùa thu năm 1924. Phòng thí nghiệm Kettering và Midgley ở Dayton ghi nhận thêm hai trường hợp tử vong vào tháng 6 năm 1924. Năm công nhân của Standard Oil Bayway đã chết vì phơi nhiễm chì vào tháng 9 năm 1924, và 44 người phải nhập viện - một đại thảm họa. Bốn công nhân DuPont nữa chết vào mùa đông năm 1925.

“Tờ *New York World* đã tham gia cuộc thập tự chinh chống lại chất độc nguy hiểm này,” Alice Hamilton nhớ lại trong cuốn tự truyện của mình; “đã

có sự hoảng loạn lan rộng về việc sử dụng xăng pha trộn liên quan đến rủi ro cho cộng đồng; vài bang vội vã cấm bán ‘xăng ethyl’, các quốc gia nước ngoài đe dọa cấm nhập khẩu nó. [57] Từ *New York Times* và các tờ báo khác tường thuật vụ việc chi tiết qua các năm giữa thập niên. Kettering báo cáo rằng hội đồng quản trị của Standard Oil “đang chìm trong một bầu không khí hoang mang. Các giám đốc rất lo sợ về diễn biến này, họ không biết điều gì sẽ xảy ra với họ.” [58] Midgley phàn nàn với một đồng nghiệp rằng “chì thải qua ống xả chẳng đáng là bao để phải lo lắng,” nhưng “không ai biết Quốc hội sẽ ban bố điều luật gì mới” sau những cái chết gần đây. Ông chắc chắn rằng bất kỳ bộ luật nghiêm cấm chất phụ gia nào “cũng được thúc đẩy từ [việc] cạnh tranh phe phái và lũ cuồng sống xanh.” [59]

Cơ quan Dịch vụ Y tế Công cộng Mỹ cần một nghiên cứu khoa học để thiết lập mức độ độc hại của xăng pha chì, họ giao cho Cục Khai mỏ vì nghiên cứu này liên quan đến sản phẩm dầu khí. Midgley và Kettering đã tiếp cận Cục Khai thác mỏ một cách độc lập để thực hiện một nghiên cứu, yêu cầu họ gọi sản phẩm đang được nghiên cứu là “ethyl,” để tránh sự công khai không cần thiết và General Motors được phép bình luận, phê bình và phê duyệt kết quả. [60]

Cục đã thực hiện một nghiên cứu thực nghiệm giữa tháng 12 năm 1923 và tháng 7 năm 1924, thí nghiệm lên nhiều loại động vật - như thỏ, chuột lang, bồ câu, chó, khỉ - ở mức độ thấp của khí thải động cơ xăng pha chì, tương đương mức giới hạn khí thải được phép trong Đường hầm Hà Lan đang được xây dựng dưới sông Hudson giữa New York và New Jersey. Các con vật thí nghiệm được cho tiếp xúc với khí thải trong một buồng lớn, có lỗ thông hơi tốt, không có bụi chì trong khoảng thời gian từ ba tuần đến hơn năm tháng. Không có gì bất ngờ, giống như công nhân của Đường hầm Hà Lan, không ai hay con vật thí nghiệm nào chết vì ngộ độc chì. Kết quả là New York và New Jersey hủy bỏ lệnh cấm của họ đối với chì tetraethyl. [61]

Trong báo cáo *JAMA* năm 1925, Hamilton và các đồng nghiệp đã chỉ trích nghiên cứu của Cục Khai thác mỏ. “Thời gian tiếp xúc của động vật quá ngắn,” họ kết luận, “và phương pháp được sử dụng không đủ để tạo ra kết quả thuyết phục.” Nghiên cứu tuyên bố, họ viết, “rằng ‘mối nguy hiểm duy nhất của ngộ độc chì từ các sản phẩm đốt từ xăng ethyl dường như chỉ xảy ra với những người thợ liên tục làm sạch carbon trong động cơ.’” Họ

bất đồng ý kiến. Họ nghĩ rằng bằng chứng này cho thấy mối nguy hiểm thực sự của ngộ độc chì mạn tính từ các quy trình trong xưởng và đáng kể hơn, “nguy hiểm có thể xảy ra với cộng đồng từ bụi chì trên đường phố của các thành phố lớn.”^[62]

Kettering di thuyền đến châu Âu vào mùa đông để khám phá các lựa chọn thay thế cho chất phụ gia của mình. (Một công ty con của gã khổng lồ hóa học nước Đức IG Farben, BASF, chỉ cho ông một lựa chọn mới, sắt carbonyl, mà không cho biết chi tiết về nó. Ông đã nhận biết ra chất đó và đăng ký bằng sáng chế ở Mỹ sau khi trở về Mỹ. Một bước đi được BASF đánh giá là “rất sắc sảo.”^[63]) Kettering gặp Bác sĩ phẫu thuật General Hugh S. Cumming vào tháng 12 năm 1924. Cumming giờ đã có trong tay nghiên cứu của cục. Hai người đồng ý rằng một hội nghị của các bên quan tâm sẽ là một ý tưởng tốt. Cumming kêu gọi một tuần gặp gỡ vào tháng 5 năm 1925. Hơn 100 nhà công nghiệp, nhà hóa học, lãnh đạo lao động và các bác sĩ đã được mời.^[64]

Là bên quan tâm kiêm chủ tịch của tập đoàn có sản phẩm đang bị xem xét, Kettering nổi bật trong số các diễn giả chính, hầu hết trong số họ là các quan chức chính phủ.^[65] Ông đã xem xét lịch sử tiếng gõ của động cơ, thảo luận về bỏ còi và các chất phụ gia khác nhưng nhấn mạnh nguồn cung hạn chế của chúng. Frank Howard, phó chủ tịch nghiên cứu của công ty Ethyl, sau đó đã nói chuyện say mê hơn. “Công việc phát triển nhiên liệu động cơ đang tiếp diễn của chúng tôi là điều cần thiết cho nền văn minh của chúng ta,” ông thú nhận. “Bây giờ, sau mười năm nghiên cứu... chúng ta có món quà rõ ràng này từ Chúa cho phép chúng ta [tiết kiệm dầu]... chúng ta không thể đối mặt với lương tâm của chính mình nếu quay lưng lại với nó.” Grace Burnham McDonald, người sáng lập kiêm giám đốc của Cục Sức khỏe Người lao động, phản bác rằng “đó không phải là món quà của Chúa đối với [công nhân] người bị giết bởi nó và [nhiều công nhân nữa] đã bị thương.” Alice Hamilton chuyển sang khẩn cầu các nhà hóa học “tìm nguyên liệu thay thế khác... Tôi hoàn toàn không sẵn lòng tin rằng chất duy nhất có thể được sử dụng để loại bỏ tiếng gõ động cơ là chì tetraethyl.”^[66]

Các nhà tổ chức đã quyết định cắt ngắn cuộc họp, nhấn mạnh rằng trọng tâm của họ chỉ là với chì tetraethyl, chứ không phải còi và các lựa chọn thay thế khác.^[67] Hội nghị đã được lên kế hoạch trong một tuần

nhưng phải hoãn lại chỉ sau một ngày. Một ủy ban bác sĩ phẫu thuật được chỉ định đi điều tra sau vào mùa hè năm 1925. Ủy ban nhận thấy rằng “không có căn cứ vững chắc nào để cấm sử dụng xăng ethyl.”^[68]

Như sử gia về nhiên liệu William Kovarik lưu ý trong nghiên cứu nhiều tranh cãi về chì tetraethyl, hầu hết sự gia tăng chỉ số octan nhiên liệu trong những thập niên tiếp theo không đến từ phụ gia mà từ cải tiến công nghệ lọc dầu và từ pha trộn. Midgley và Kettering đã nhận thức được lợi nhuận tiềm năng từ việc loại bỏ một chất phụ gia được cấp bằng sáng chế thay vì thêm c chì không được cấp giấy phép vào nhiên liệu của động cơ. “Cách tôi cảm nhận về tình hình Xăng Ethyl,” Midgley viết cho Kettering vào đầu tháng 3 năm 1923, “là có vẻ như chúng ta có thể chiếm tối thiểu 20% lượng xăng bán trong nước nếu chúng ta quảng cáo và lao vào cơ hội kinh doanh này... ở mức lời ba xu trên một gallon bán được.” Theo tính toán của Kovarik, mức tối thiểu đó vào thời điểm này đại diện cho khoảng hai tỉ gallon xăng, tương đương 60 triệu đô-la mỗi năm (837 triệu đô-la ngày nay).^[69]

Cả hai người đàn ông cũng nhận thức được sự sụt giảm cả nhu cầu lẫn chất lượng của xăng Mỹ. Họ đã nghĩ đến công thức của Harold Hibbert. Kettering đặc biệt thúc đẩy các động cơ nhỏ hơn, nén cao hơn đang hoạt động với xăng pha c chì. Midgley trong bản báo cáo bảo vệ chì tetraethyl năm 1925, liệt kê “tiết kiệm dầu mỡ” đầu tiên trong những lý do cho việc phát triển nó.⁽²⁸⁾

Nhưng lý tưởng của họ, nếu thật như vậy, đã mâu thuẫn với một phong trào lớn hơn trong cuộc sống của người Mỹ đối với những gì Thorstein Veblen năm 1899 gọi là “tiêu dùng thả phanh.” Với việc tiếng gõ động cơ không còn là vấn đề nữa, động cơ đốt trong về cơ bản được hoàn thiện, General Motors có thể chế tạo hiệu quả hơn những chiếc xe có tốc độ cao hơn hoặc to hơn, mạnh hơn. Trong cuộc chiến để vượt mặt Ford, dòng xe đại diện cho tính hiệu quả, General Motor đã chọn công suất. Không có động cơ hơi nước hoặc ô tô điện được trưng bày tại Triển lãm Ô tô Quốc gia 1924, và ngoại trừ một chút quan tâm đến c chì nông trại trong cuộc Đại Suy thoái, các nhà sản xuất nhiên liệu đã từ bỏ dùng c chì làm chất thay thế hoặc phụ gia cho 50 năm tiếp theo.

Đến năm 1936, 90% lượng xăng của Mỹ là xăng pha chì. Tiêu thụ nội địa của chì tetraethyl đạt mức 2,3 triệu tấn vào năm 1956. Năm 1959, Cơ

quan Dịch vụ Y tế Công cộng Mỹ ủng hộ đề nghị của Công ty Ethyl *tăng* hàm lượng chì trong xăng từ 3cc đến 4cc mỗi gallon - vì các nhà tinh chế đã chậm ngưỡng trong việc cải thiện nhiên liệu thông qua tinh chế và hiện đang mất năng suất để giữ chỉ số octan.^[70] Dịch vụ Y tế Công cộng đã làm như vậy mặc dù có khiếu nại của ủy ban bác sĩ chỉ định nghiên cứu vấn đề mà “kể từ cuộc đi điều tra năm 1925, không có nghiên cứu tiếp theo với nhóm dân số lớn về việc thêm chì tetraethyl vào xăng ảnh hưởng đến tổng thể sức khỏe con người như thế nào.”^[71]

Đến năm 1963, hơn 98% xăng dầu của Mỹ là xăng pha chì. Một thập niên sau đó, chì cuối cùng đã bị loại bỏ khỏi nguồn cung cấp xăng dầu của Mỹ. Nó bị loại bỏ vì phá hoại bộ chuyển đổi xúc tác mới được thiết kế để chống lại sương khói, một vấn đề ô nhiễm không khí mới, không phải vì nó được coi là mối nguy hiểm gây ô nhiễm. Tuy nhiên, rất lâu trước đó, mặc dù có sự gia tăng các nhà cung cấp dầu Mỹ với chất phụ gia độc hại, Mỹ đã biến dự đoán của nhà hóa học người Anh Harold Hibbert thành sự thật. Nội dung của nó là “nước Mỹ sẽ phải bỏ ra một khoản tiền khổng lồ hàng năm để có được nguồn cung dầu thô từ Mexico, Nga, và Ba Tư.”^[72] Ba Tư - Iran - chắc chắn, và Mexico cũng vậy, nhưng nhiều nhất phải là Arab Saudi, một vương quốc chưa bùng tỉnh đang chỉ có lạc đà và cát.

THỢ HÀN MỘT TAY

Cuối năm 1933, một nhóm nhỏ các kỹ sư dầu khí Mỹ đã đến Arab Saudi theo sự sắp xếp với Abdul Aziz Ibn Saud, nhà vua mới. Ibn Saud là một người đàn ông khổng lồ, cao một mét chín, vai rộng và tay to, một kỹ sư cưỡi lạc đà kiêm chiến binh, vô cùng tự tin, cam kết phát triển vương quốc bị xóa sổ mà ông đã giành được bằng mưu đồ và trong trận chiến suốt 30 năm qua.



Arab Saudi nằm giữa châu Phi và châu Á

Arab Saudi trở thành một quốc gia chính thức vào năm 1932 theo chế độ quân chủ chuyên chế: 2,2 triệu km², gấp hơn ba lần so với kích thước của Texas, dân số chỉ khoảng 2,5 triệu người, phần lớn diện tích của vương quốc là các sa mạc chưa được thám hiểm.

Nhưng băng qua một eo biển hẹp từ bờ biển phía đông của nó, trên hòn đảo hình con tem tên Bahrain, chỉ dài 50 km và rộng 16 km, dầu đã chảy từ tháng 6 năm 1932 từ Giếng dầu số 1, tại một địa điểm tên là Jabal al-Dukhan. Iran và Iraq từng là hai quốc gia dầu mỏ quan trọng ở Trung Đông cho đến thời điểm đó, lợi ích dầu mỏ của họ nằm dưới sự kiểm soát của

Anh. Bahrain là một ngoại lệ nhỏ, như Arab Saudi sẽ là mối quan tâm chính. Thông qua một loạt các giao dịch và buôn bán, được thúc đẩy bởi đi đầu mà các kỹ sư người Anh tin là địa chất dầu mỏ không có tiềm năng ở Bahrain, quyền sử dụng dầu trên đất liền đã được trao cho một trong những công ty dầu mỏ quốc tế nhỏ hơn, Standard Oil ở California (Socal). Ngoài suối nước ngọt, có nhiều vỉa bitum lỏng dưới nước ở Vịnh Ba Tư (người Arab gọi nó là Vịnh Arab) phía bắc và phía đông của Bahrain, và bản thân Bahrain cũng có lượng nhỏ bitum lộ thiên, một dạng nhựa đường tự nhiên là “họ hàng gần” của dầu mỏ.^[1]

Một nhà địa chất vùng Vịnh, Ralph Rhoades, cựu lính thủy đánh bộ sinh ở Missouri có biệt danh là Dusty, đã xác định chính xác được một cấu trúc đầy hứa hẹn: một cấu trúc giống hình mái vòm bằng đá gọi là *jabal*, ở Bahrain vào năm 1928, trước khi Socal có được nó.^[2] Tiếp theo có Fred Davies, một nhà địa chất Socal quan tâm đến Vùng Vịnh từ năm 1930, không chỉ xác định được một giếng dầu ở *jabal* của Bahrain mà còn nhìn về phía tây qua eo biển đến Arab Saudi và phát hiện ra một cụm *jabal* ở đó. Xác nhận của ông sẽ chứng minh chính xác: các *jabal* của Bahrain và Arab có liên quan đến nhau, cả hai hòn đảo ban đầu đều ở Vùng Vịnh - vùng *jabal* nội địa giờ là một phần của đất liền vì cát đã lấp đầy khoảng cách giữa nó và đường bờ trước đó.^[3]

Daniel Yergin, trong cuốn sách lịch sử về ngành dầu lửa *Dầu lửa, tiền bạc và quyền lực*,⁽²⁹⁾ đã mô tả chi tiết và sinh động về các cuộc đàm phán dài hơi và phức tạp diễn ra giữa Socal và Quốc vương Ibn Saud cho quyền khai thác dầu ở Arab Saudi. Phần lớn doanh thu của đất nước đến từ phí và dịch vụ cho lũ khách hành hương đến Thánh Địa Mecca. Số người hành hương đã giảm vì thảm họa tài chính của Đại Suy thoái - từ gần 100.000 người mỗi năm cho đến năm 1930, xuống chỉ còn 20.000 người vào năm 1933.^[4] Do đó, Yergin viết, “Ibn Saud chẳng mấy mà hết tiền... Tình hình tài chính của Quốc vương nhanh chóng rơi vào tình trạng tuyệt vọng; hóa đơn chưa thanh toán; tiền lương của công chức bị nợ sáu hoặc tám tháng. Khả năng của Ibn Saud nhằm trợ cấp cho các bộ tộc là chất keo quan trọng nhất liên kết một vương quốc bị chia rẽ và chưa phát triển xuyên suốt triều đại của ông.”^[5]

Một nhân vật không ngờ tới đã dẫn dắt cho ông: một người Anh nổi dậy tên Harry St. John Bridger Philby, được biết đến với cái tên Jack, một

người cải sang đạo Hồi và là cố vấn thân cận của Ibn Saud⁽³⁰⁾. “Quốc vương,” Philby viết, “nhìn lại những rắc rối gần đây của ông với các lãnh đạo cuồng tín hơn của phong trào Wahhabi [theo chủ nghĩa chính thống], đã miễn cưỡng mở cửa đất nước cho bè lũ dị giáo.” Philby nói rằng ông đã nói với Ibn Saud rằng “Quốc vương và thần dân của ông giờ giống như người đang say ngủ trên một kho báu vĩ đại bị chôn vùi, nhưng không có ý chí hay năng lượng để tìm kiếm dưới gầm giường của họ,” trích dẫn thêm câu châm ngôn phiên bản kinh Koran của câu “Chúa chỉ cứu vớt những kẻ tự cứu mình”: “Đấng Allah không thay đổi bên trong của con người trừ phi họ tự thay đổi chính mình.”^[6] Quốc vương vẫn lưỡng lự. Philby quyết định hành động thay mặt quốc vương trong việc giành lợi ích dầu mỏ của người Anh và người Mỹ. Đối tác người Anh của ông thì trong bất kỳ trường hợp nào, luôn nghi ngờ khả năng Arab Saudi sở hữu bất kỳ trữ lượng xăng dầu đáng kể nào.

Theo quan điểm của Socal, thời điểm họ nhảy vào có thể không được thuận tiện. Sản xuất dầu toàn cầu đạt mức 2,9 triệu thùng mỗi ngày vào năm 1925, đã tăng lên hơn 4 triệu thùng mỗi ngày vào năm 1929. Số lượng ô tô trên đường chỉ riêng Mỹ đã nhân lên từ 9,2 triệu vào năm 1920 đến 26 triệu vào năm 1931.^[7] Sau đó, cuộc Đại Suy thoái giết chết thương mại. Lượng đăng ký ô tô ở Mỹ giảm gần 2,6 triệu giữa năm 1930 và năm 1933. Thế giới tràn ngập dầu lửa. Ở Oklahoma, bạn có thể mua một thùng dầu với giá 46 xu.^[8]



Ibn Saud, quốc vương đầu tiên của Arab Saudi

Tuy nhiên, một số người ở Socal - những người ở bộ phận sản xuất, theo ghi chép của tiểu thuyết gia và sử gia Wallace Stegner, người đã viết lịch sử của công ty Socal khi non trẻ - “cảm thấy rằng thời điểm tìm kiếm dầu chính là khi đã có thừa thãi. Đây chính là lúc việc nhượng bộ và cho thuê dễ dàng hơn và ít tốn kém nhất để có được.”^[9] Việc nhượng bộ và cho thuê của Arab Saudi thì lại không hề dễ dàng và rẻ. Tuy nhiên, Socal được hưởng lợi từ việc các công ty dầu mỏ khác không quan tâm, họ thường có xung đột hợp đồng.^[10] Mặc dù vậy, các cuộc đàm phán ban đầu giữa công ty dầu mỏ của Mỹ và Quốc vương Arab Saudi chỉ đi đến đích vào cuối tháng 5 năm 1933.^[11]

Nhà vua đã yêu cầu thanh toán các khoản phí hợp đồng và các khoản vay dài hạn bằng vàng: một khoản phí cho thuê hằng năm là 5.000 bảng vàng cho đến khi đào được giếng, một khoản vay là 50.000 bảng (chỉ được trả lại bằng doanh thu dầu mỏ) và khoản thuế tài nguyên sau khi phát hiện ra dầu là bốn shilling vàng trên mỗi tấn dầu thô. Đổi lại, theo một báo cáo lịch sử của chính phủ Mỹ, “Công ty đã nhận được độc quyền để thăm dò, sản xuất và xuất khẩu dầu, miễn thuế, trên hầu hết lãnh thổ phía đông của Arab Saudi trong 60 năm. Các điều khoản được chính phủ Arab Saudi chấp nhận dễ dàng, phản ánh nhu cầu cần tiền ngay của người cầm quyền, việc đánh giá thấp sản lượng dầu tiềm năng trong tương lai và vị thế thương lượng yếu của quốc vương.”^[12]

Ngay sau đó, kế hoạch trả cho Ibn Saud bằng vàng Mỹ của Socal bị đình lại. Một trong những hành động đầu tiên của Franklin Roosevelt khi tuyên thệ nhậm chức Tổng thống Mỹ vào tháng 3 năm 1933 là đưa đất nước rời khỏi hệ thống bản vị vàng và triệu hồi tất cả các đồng tiền vàng và chứng chỉ vàng. Kháng cáo lên Bộ Tài chính Mỹ để cho phép xuất khẩu 170.327,5 đô-la bằng vàng (tương ứng với 35.000 bảng, đợt trả đầu tiên của Socal) chỉ được phản hồi bằng một lá thư từ chối từ Thứ trưởng Tài chính trẻ tuổi tên là Dean Acheson.^[13] Socal hoàn thành trách nhiệm hợp đồng của mình sau đó thông qua London bằng cách rút 35.000 tiền vàng Anh thông qua ngân hàng từ Xưởng đúc tiền Hoàng gia. Để tránh việc xem nhẹ phụ nữ của phong trào Wahhabi, như chúng ta vẫn biết ngày nay, Xưởng đúc tiền Hoàng gia đã đồng ý gác bỏ chủ quyền của Nữ vương Victoria sang một bên và chỉ đóng dấu triện các đời vua Anh lên vàng.^[14]

Khoản thanh toán đến trễ - Arab Saudi và Socal chính thức ký kết thỏa thuận vào ngày 14 tháng 7 năm 1933 - nhưng vào ngày 4 tháng 8, bảy hộp gỗ đựng vàng Anh được vận chuyển từ London đến Jeddah, thị trấn cảng nơi các cuộc đàm phán đã được tiến hành, trên bờ Biển Đỏ khoảng 64 km về phía tây Mecca.^[15] Một đại diện của Socal điện báo cho văn phòng hãng tại San Francisco vào ngày 25 tháng 8, Stegner viết, “rằng ông đã đổ chúng ra đếm trên bàn Ngân hàng Hà Lan tại Jeddah trước mặt Sheikh Abdullah Suleiman [nhà đàm phán trưởng sắc sảo của Ibn Saud], và đã nhận được biên nhận của Sheikh Abdullah.”^[16]

Bây giờ Socal chỉ còn phải tìm ra dầu. Ngày nay, rõ ràng Arab Saudi nằm trên một trong những mỏ dầu lớn nhất thế giới. Điều đó chưa rõ ràng vào những năm 1930, khi Socal bắt đầu tìm kiếm, bỏ qua giếng ở Bahrain. Lợi ích của Anh nằm ở Công ty Dầu khí Iraq (IPC) của họ, IPC đã bắt đầu nhảy vào cuộc đua vào năm 1936 bằng cách đàm phán nhượng đất với Ibn Saud để lấy Hejaz, phần phía tây của Arab Saudi. “Các điếu khoản cao hơn nhiều so với những điếu khoản được đàm phán ba năm trước với Socal,” Yergin nhận định. “Hạn chế duy nhất là IPC không bao giờ tìm thấy dầu ở đó.”^[17]

Socal giao khu mỏ ở Arab Saudi cho một công ty con, Công ty Dầu Tiêu chuẩn Arab và California (Casoc).⁽³¹⁾ Casoc triển khai thăm dò dầu ngay lập tức: một diện tích khoảng 830.000 km².^[18] Giống như Henry Ford chế tạo chiếc ô tô đầu tiên trong một thế giới không có phụ tùng ô tô, Casoc cũng khai thác ở một quốc gia không có nguần cung cấp phụ tùng thiết bị khai thác dầu và công cụ giản đơn. Việc liên lạc cũng bị hạn chế. “Ibn Saud đã xóa đi sự nghi ngại của thần dân với điện thoại,” Stegner báo cáo, “bằng cách phát đi các đoạn Kinh Koran qua nó, nhưng điện thoại cho đến nay chỉ nối giữa các thành phố của Hejaz.”^[19] Radio hai chiều phải phục vụ thay thế. Cũng không có bản đồ chính xác nào khác ngoài một bản đồ của Văn phòng Chiến tranh Anh quy mô lớn của toàn bộ Bán đảo Arab. Bất chấp những điếu bất lợi này, vào cuối tháng 9 năm 1933, đội Casoc đầu tiên đã thăm dò *jabal* với những ngọn đồi đá vôi mà Fred Davies nhìn thấy ở Bahrain năm 1930, khẳng định rằng nó có vẻ đầy hứa hẹn, đổi tên nó thành Mái vòm Dammam, và hạ trại khai thác dầu đầu tiên ở Arab Saudi gần đó, cách bờ biển.^[20]

Chiến dịch của Casoc tìm được dầu với khối lượng thương mại ở Arab Saudi mang màu sắc anh hùng ca hoặc màu sắc thực tế. Phiên bản anh hùng ca - câu chuyện lịch sử mà Wallace Stegner được thuê viết, hoàn thành vào năm 1955 cho mục đích cải thiện quan hệ công chúng và chỉ được xuất bản ở nước ngoài (ở Beirut) khi ông còn sống - đã miêu tả người Arab và người Mỹ lao động tay trong tay một cách bình đẳng và nhà vua như một người cổ vũ thân thiện. Phiên bản thực tế, một công trình học thuật gần đây hơn dựa trên các tài liệu của công ty và các hồ ức không có hồ kết của một số người tham gia, đã tiết lộ chủ nghĩa phân biệt chủng tộc lan tràn của phía Mỹ: nhà ở tách biệt, chênh lệch tiền công lớn, người lao động ở Trung Đông bị chế giễu là “cu li” hay “trẻ ranh” - cùng một quốc vương dễ chịu nhưng tham lam thúc đẩy tiến độ không ngừng vì tiền và các phần thưởng khác.^[21] Cả hai bức chân dung hợp nhất trong việc tái hiện toàn cảnh quá trình tìm kiếm và khai phá tài nguyên thiên nhiên trên quy mô như bối cảnh đèn thần của Aladdin, dầu phun ra từ lòng đất mạnh như thể Trái đất đang rỉ máu vậy.

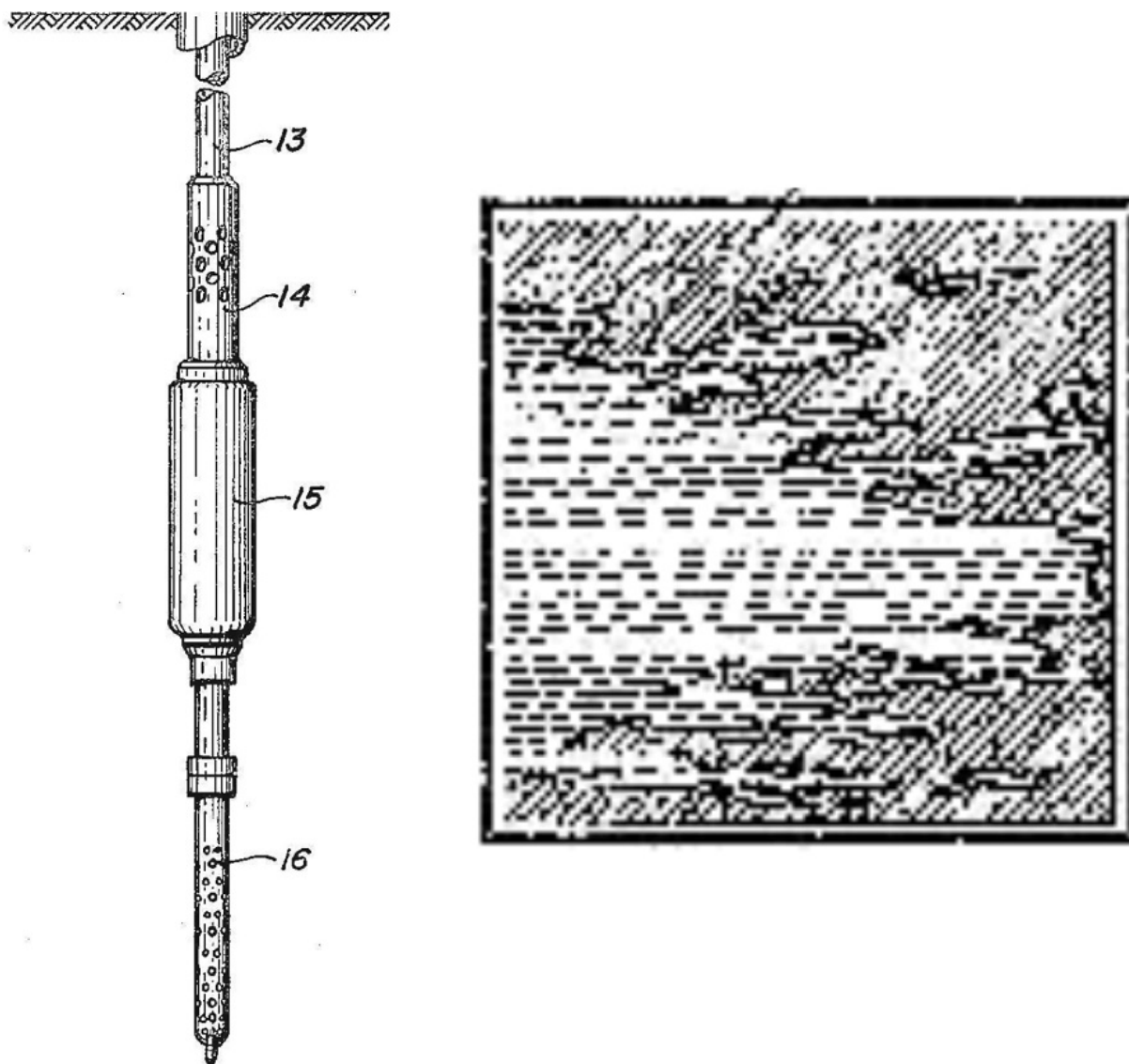
Các kỹ sư của Casoc đã hoàn thành khảo sát mái vòm Dammam vào đầu tháng 6 năm 1934, nhưng phải đến tháng 11 họ mới bán dự án cho Socal ở San Francisco và bắt đầu gửi đến một đội khoan. “Sau tin tức công ty lên kế hoạch khoan vào cấu trúc Dammam,” Stegner viết, “chính phủ [Arab] nay có thông tin đáng hoan nghênh nhất họ mong đợi... Thế giới vẫn đang vật lộn với Đại Suy thoái, hajj [hành hương đến thánh địa Mecca] sẽ lại sáng lên, nhu cầu tiền của Saudi vẫn rất cao mặc dù nhận được khoản vay thứ hai mà công ty đã thực hiện trước ngày tới hạn. Cần nguồn tài chính lớn, chính phủ Arab Saudi bỏ ngoài tai cảnh báo của người Mỹ rằng có thể không có dầu ở đó.”^[22]

Đến tháng 2 năm 1935, thiếu chất nổ, họ đã xây dựng một hầm chứa cầu trục cho giếng Dammam số 1 theo cách cũ, bằng cách đốt nóng bề mặt đá bằng củi lửa và đổ nước vào để phá vỡ nó. Đến giữa tháng 4, cầu trục đã vào vị trí. Cuối tháng 4, họ đã đào giếng chạm nền đá cứng, độ sâu mà công việc khoan thực sự bắt đầu với một lỗ đường kính 57 cm.^[23]

Vào cuối tuần đầu tiên của tháng 5 năm 1935, họ đã khoan qua 80 mét đá vôi xám cứng. Sau đó: 14 tháng 5, gặp nước ở độ sâu 95 mét; một chút hắc ín ở 117 mét; vẫn đá vôi xám, 150 mét. Đến ngày 15 tháng 7: 437 mét, đá vôi xám. Đến ngày 25 tháng 8, trong một cuộc điện đàm với San

Francisco: “Có dấu hiệu nhẹ của ga và dầu ở độ sâu 1.774 feet. Không quan trọng nhưng đáng khích lệ.” Đến ngày 18 tháng 9, ở độ sâu 602 mét, phun dầu nhẹ ở mức 6.537 thùng mỗi ngày, có vẻ đã thành công nhưng California khuyến cáo thận trọng: “Các số liệu này có thể cần kiểm tra trước khi ta ăn mừng sớm.” Đó là lời khuyên tốt. Vào ngày 23 tháng 9, đội khoan đã báo cáo, dòng chảy đã ổn định chỉ vào khoảng 100 thùng một ngày. “Đây có thể là một giếng dầu nếu ở Pennsylvania,” Stegner ghi chú một cách khô khan, “nhưng không phải ở đây.” Vào ngày 27 tháng 11, ở độ sâu 692 mét, có một luồng khí ga mạnh nhưng chỉ có một vết dầu. Họ đành lấp giếng bằng bùn. Một tháng sau, vào ngày 4 tháng 1 năm 1936, họ phong tỏa giếng Dammam số 1 bằng bê tông và bắt đầu khoan Dammam số 2.^[24]

Dầu đã xuất hiện ở một chân trời sâu hơn ở Bahrain, 862 mét. Tìm kiếm một mỏ dầu song song, họ quyết định khoan Dammam số 2 sâu hơn. Đến ngày 11 tháng 5 năm 1936, Stegner viết, xuống đến 663 mét, nó “đã đem lại những lời khen ngợi đáng khích lệ nhất.” Trong cuộc thử nghiệm kéo dài năm ngày, vào ngày 20 tháng 6, dầu đã chảy 335 thùng một ngày. Họ đã quyết định acid hóa nó: bơm acid clohydric xuống ở áp suất thấp để hòa tan mở các lỗ của đá vôi. Nó an toàn hơn mừng tượng khi đá vôi mà acid làm tan ra đã trung hòa acid.



Bơm acid vào giếng dầu mở ra lớp đá không thấm nước và tăng lưu lượng dòng chảy - về cơ bản là một hình thức ban đầu của fracking hay cắt phá bằng thủy lực. Trái: bản vẽ bằng sáng chế 1939 của ống bơm acid có lỗ; phải: minh họa đá bị acid hóa.

Quá trình acid hóa ở giếng số 2 có hiệu quả. Sản lượng lên tới 3.840 thùng một ngày. Sau đó, họ phải đối mặt với tình trạng khó xử tương tự như Edwin Drake đã phải đối mặt với 77 năm trước với giếng dầu đầu tiên: họ hết kho chứa. Vì vậy, họ đóng cửa giếng. Kết quả đủ để xác nhận những gì họ và người Saudi đã hi vọng: có dầu ở Arab.^[25]

Trong hai năm tiếp theo, họ đã khoan hết lỗ này đến lỗ khác nhưng đều thất vọng. Tất cả các lỗ khoan đã nuốt nước bằng cả lũ đoàn lạc đà, 630 nghìn gallon một ngày, máy bơm không bao giờ dừng lại trên con suối

ngầm ở Vịnh mà họ khoan phải.^[26] Giếng Dammam số 3 không bao giờ sản xuất hơn 100 thùng mỗi ngày; họ đã sử dụng sản phẩm ngập nước này làm hắc ín rải đường. Dammam số 4 là một lỗ khô; đoàn phải ngừng khoan ở 706 mét. Dammam số 5 cũng vậy, bị ngừng ở 630 mét. Nản lòng, họ không đi xa hơn với Dammam số 6 ngoài việc đào hầm và nâng trục khoan.^[27]

Dammam số 7, theo Stegner, sẽ là lỗ thử nghiệm sâu đầu tiên. “Những gì họ sẽ tìm thấy thì vẫn là ẩn số, nhưng tất cả họ đều hiểu rằng phải thu được kết quả gì đó. Thời gian không còn nhiều nữa.”^[28] Họ đã hoàn thành việc mở giếng số 7 và bắt đầu khoan xuống vào ngày 7 tháng 12 năm 1936. Vào ngày 10 tháng 4, họ bị mất một mũi khoan. Vào ngày 16 tháng 4, họ xuyên qua giếng bằng mũi khoan lớn hơn xuống tới 221 mét, khi một mảng đá sụp xuống, và một tảng đá lăn xuống. “Lỗ lấp với 200 bao tải xi măng,” Fred Davies sau đó đã báo tin cho San Francisco bằng một tin làm vững lòng, “phần đỉnh trát xi măng ở độ sâu 704.” Khi xi măng đã cứng lại và gia cố phần vòm hang và đá tảng, họ có thể khoan giếng tiếp xuyên qua khối chắn này.

“Đến tháng 5 năm 1937,” Stegner viết, “mọi người xung quanh Dammam thừa nhận rằng cái giếng ở trong tình trạng xấu và tiến độ sẽ bị chậm. Một sự bứt phá vào tháng 7 đã đưa họ xuống 2.400 feet, sau đó lại trì hoãn. Vào ngày 6 tháng 10 đạt 3.330 feet. Các thử nghiệm sau đó, cũng như vào ngày 11 và 13 ở mức sâu hơn một chút, đem lại cùng một báo cáo: ‘Không dầu, không nước.’”^[29]

Cuối cùng, đến ngày 16 tháng 10, những giọt dầu đầu tiên đã xuất hiện tại độ sâu 1.097 mét - “khoảng hai gallon, trong một dòng bùn pha khí mỏng.” Với hai gallon loãng đó, các kỹ sư phải đối mặt với một ban giám đốc Socal đầy hoài nghi ở San Francisco chuẩn bị khai tử giếng nhằm chấm dứt sự sa lầy mất mát tài chính, hàng chục triệu đô-la đầu tư vào Saudi đã bị chôn vùi xuống đất.

Sau đó, vừa kịp lúc, như trong tất cả các màn kịch tính cao trào, Dammam số 7 không phụ lòng người: vào ngày 4 tháng 3 năm 1938, trong khi ban giám đốc Socal vẫn đang cân nhắc, giếng số 7, ở độ sâu 1.440 mét, bắt đầu chảy ở mức 1.585 thùng mỗi ngày. Ba ngày sau, lưu lượng lên gấp hơn hai lần thể tích đó, tới 3.690 thùng và tới 3.810 thùng vào cuối tháng. Nó nhiễm chua với hydro sunfua, không ngọt, nhưng khử lưu huỳnh sẽ

khắc phục đi đầu đó. (Hầu hết lưu huỳnh được sản xuất trên thế giới ngày nay là lưu huỳnh phụ phẩm từ hoạt động dầu khí.) Không đủ kho lưu trữ sẵn có, họ ghép giếng số 7 và số 1 rồi đưa dầu chảy trở vào lòng đất. Đến ngày 27 tháng 4, Dammam số 7 đã sản xuất hơn 100.000 thùng.^[30] Trong suốt nhiều thập niên cho đến khi bị đóng cửa vào năm 1982, giếng số 7 đã cho sản lượng hơn 32 triệu thùng dầu.^[31]

Khu vực khoan sâu mà dầu chảy ra từ giếng số 7 được đặt tên là Vùng Arab. Khi Casoc tiếp tục mở rộng giếng số 2 và 4 về phía đó, những giếng này cũng bắt đầu cho dầu với số lượng thương phẩm. Công ty đã xây dựng một đường ống từ Dammam đến cảng Ras Tanura trên Vịnh. Arab Saudi đã đòi một khoản tiền chi trả và thuế tài nguyên lớn hơn rất nhiều, đổi lại Socal nhận được quyền khai thác trên 1,1 triệu km² - tương đương với tổng diện tích của Vương quốc Anh, Pháp và Đức cộng lại.^[32] Vào ngày 1 tháng 5 năm 1939, Ibn Saud đã đến thăm cảng với một bầu đoàn gần 2.000 người gồm quan chức và triều thần, tất cả đến trong khoảng 400 ô tô kéo theo hàng đám mây bụi lớn. Một tàu chở dầu Socal, chiếc SS *Scofield*, đang đợi sẵn và họ đã lên tàu để ăn mừng. Sau đó, với vương quốc của mình sống được nhờ dầu, quốc vương là người xoay van danh dự cho đường ống cảng để dẫn dầu lên tàu chở dầu thô đầu tiên của Arab Saudi.^[33]

Lịch sử của năng lượng lỏng là lịch sử của các đường ống. Khu vực khí đốt tự nhiên mà George Westinghouse đã khai thác để cung cấp cho Pittsburgh nhiên liệu sạch giúp giảm hai triệu tấn than tiêu thụ hàng năm của thành phố, đã cạn kiệt trong chưa đầy mười năm. Ngày nay có thể tự hỏi vì sao thành phố quay trở lại với than nhưng giải pháp công nghệ chưa tồn tại vào những năm 1890 để xây dựng các đường ống dài có thể vận chuyển các nguồn khí tự nhiên ở xa hơn.

Đường ống phục vụ tốt nhất cho việc vận chuyển cục bộ và trên quy mô địa phương nhỏ. Xây dựng thành các phần nối với nhau, dùng đinh tán và mối hàn, chúng có xu hướng bị rò rỉ. Kỹ thuật giúp cho việc xây dựng đường ống dài trở nên khả thi chính là hàn hồ quang điện.



Hệ thống dẫn khí đốt khu vực của Mỹ trước năm 1925

Humphry Davy lần đầu tiên trình diễn hồ quang điện tại Viện Hoàng gia vào năm 1802, phần trình diễn đòi hỏi phải có cả một tầng hầm pin để hỗ trợ. Davy đã trình diễn một nguồn ánh sáng mới mà không phải là kỹ thuật hàn. Thợ rèn thời đó “hàn” bằng cách đập các mảnh kim loại nung nóng trong một lò rèn lại với nhau. Hồ quang điện có nhiệt độ đạt tới 6.500°F (3.600°C), đủ nóng để hàn, nhưng hàn điện công nghiệp cần dòng điện nhiều hơn mức pin có thể duy trì nên cần chờ sự phát triển của máy phát điện.

FIG. 1.

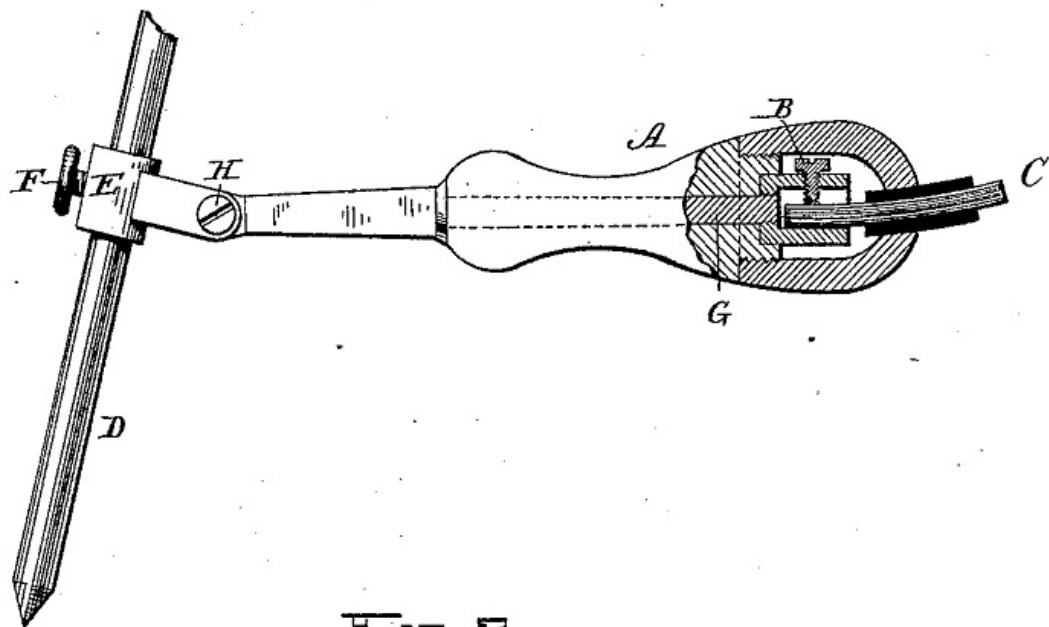
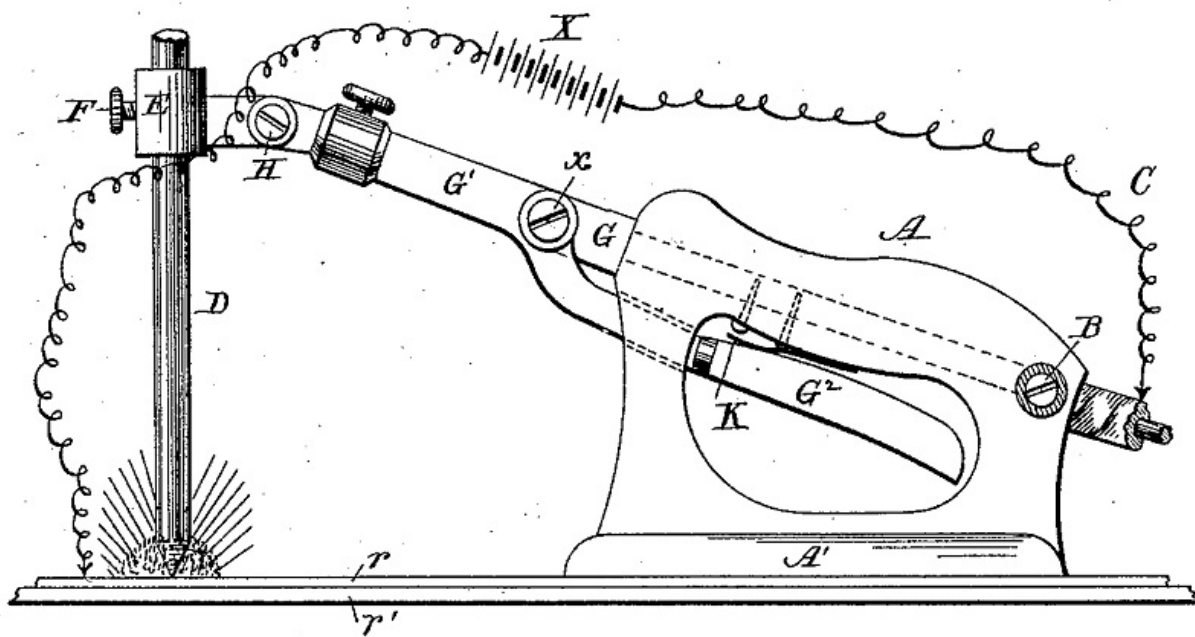


FIG. 2.



Hai hình chiếu của hệ thống hàn hồ quang Bernardos-Olszewski, được cấp bằng sáng chế tại Mỹ vào năm 1887. Biểu tượng pin I trong hình 2 chỉ nguồn điện; tay cầm trong hình 2 nằm trên một giá đỡ.

Vào cuối những năm 1870, một nhà phát minh người Nga, Nicholas Benardos, đã thí nghiệm sử dụng dòng điện để làm nóng các cạnh của tấm thép, giống như thợ rèn đã làm với lửa than, sau đó các tấm có được liên kết cứng bền hơn so với đập bằng búa. Gia nhiệt kéo dài đôi khi làm nóng chảy các cạnh của các tấm. Benardos nhận thấy sự nóng chảy như vậy tạo ra một kết nối nguyên khối mạnh hơn so với búa. Ông đã trình diễn công nghệ này tại Paris trong Triển lãm Điện lực Vĩ đại năm 1881, nơi Thomas Edison và Hiram Maxim, trong số những người khác, trưng bày bóng đèn điện đầu tiên của họ. Benardos tìm thấy một đối tác tại Triển lãm: một kỹ sư Ba Lan giàu có tên là Stanislas Olszewski, người đã hỗ trợ nghiên cứu của Benardos, và là người chia sẻ bản quyền sáng chế đầu tiên với đối tác người Nga vào năm 1885. Một bằng sáng chế nhóm của Mỹ được cấp phép cho hai người vào năm 1887.^[34]

Hệ thống hàn hồ quang Bernardos-Olszewski sử dụng một thanh carbon kẹp trong một tay khoan có dây để đưa dòng điện đến đầu nhọn của thanh. Một cái kẹp gắn vào các miếng kim loại được hàn mang dòng điện trở lại nguồn phát điện. Khi người dùng mài mũi thanh carbon vào kim loại, anh ta đánh ra một tia lửa điện, tạo ra một vùng plasma nóng để làm kín mạch điện. Bằng cách di chuyển thanh carbon theo đường mà hai mảnh kim loại chạm nhau, anh ta làm nóng chảy và hợp nhất chúng lại với nhau.

Sử dụng thanh carbon để tạo thành hồ quang hàn chế công nghệ hàn hồ quang điện đầu tiên này để nấu chảy các bộ phận kim loại nhằm nối chúng lại. Nếu người vận hành muốn thêm kim loại vào mối hàn, anh ta phải cho một thanh kim loại riêng vào hồ quang nóng, hàn bằng hai tay. Một nhà phát minh người Nga khác đã đơn giản hóa quá trình này vào năm 1888 bằng cách sử dụng kim loại thay cho que hàn carbon. Với sự tinh chỉnh đó, thợ di que hàn vào hồ quang nóng khi di chuyển que dọc theo đường hàn. Phần tan chảy từ thanh kim loại sẽ cho thêm kim loại vào mối hàn. Khi thanh dùng gần hết thì tháo bỏ mối ngắn, kẹp vào một que mới và tiếp tục hàn.

Những tinh chỉnh khác được bổ sung thêm vào đầu thế kỷ 20. Que hàn kim loại nóng tương tác với khí trong không khí để tạo ra các hợp chất ăn

mòn, ví dụ như làm cho nồi hơi tàu bị rò rỉ trở lại sau khi sửa chữa. Để giải quyết vấn đề này, một số nhà phát minh đã nghĩ ra các lớp phủ có thể bay hơi ở đầu que hàn nóng, tạo ra một lá chắn cục bộ của khí trơ nhằm loại bỏ không khí. Khí trơ làm giảm việc nhỏ giọt và phun ra vì nó có thể hàn trên cao mà không có nguy cơ kim loại nóng chảy rơi vào thợ hàn. Giải pháp công nghệ mới cho phép các máy móc như nồi hơi tàu thủy được sửa chữa tại chỗ mà không cần phải tháo rời và di chuyển từ đó tiết kiệm thời gian.

Ngành đóng tàu buôn của Mỹ đã gần như biến mất trước Thế Chiến I. Một sử gia nói về “sự bất lực kinh niên của các công ty đóng tàu Mỹ trong việc cạnh tranh với các nhà máy đóng tàu nước ngoài.”^[35] Hầu hết các phương tiện vận chuyển được đóng từ năm 1910 đến năm 1914 ngoài tàu khách độc quyền là xe toa và xà lan.^[36] Các tàu thép vẫn được ghép lại với nhau thay cho hàn, ngoại trừ một tàu phá băng dài 12 mét làm việc ở Ngũ Đại Hồ, chiếc *Dorothea M. Geary*, được đóng tại Ashtabula, Ohio và hạ thủy trên hồ Erie vào năm 1915.^[37]

Thời thế thay đổi với Thế Chiến I. Tổng thống Wood Row Wilson tuyên bố Mỹ trung lập vào ngày 4 tháng 8 năm 1914, nhưng tính trung lập dần biến mất khi chiến tranh mở rộng và khốc liệt hơn. Hơn 100 người Mỹ đã chết trong tổng số 1.198 hành khách thiệt mạng trong vụ nước Đức đánh chìm tàu Anh, chiếc *Lusitania*, vào tháng 5 năm 1915. Hậu quả từ chính sách mới về chiến tranh tàu ngầm không giới hạn của Đức cộng với một tin liên lạc bị chặn giữa Đức và Mexico tháng 1 năm 1917 đề xuất một liên minh quân sự nếu Mỹ tuyên chiến, đã đưa nước Mỹ gia nhập liên minh các quốc gia chiến tranh với Đức vào tháng 4 năm 1917.

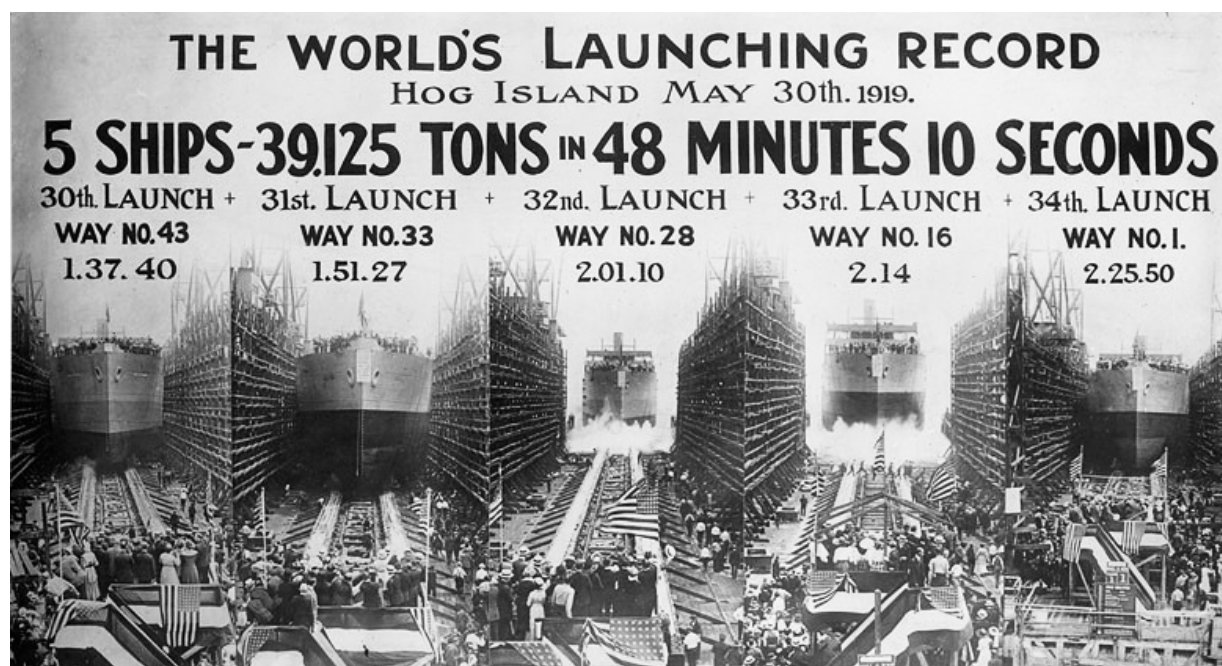
Với tuyên bố tham chiến ngày 6 tháng 4, Mỹ chuyển sang tạm giữ mọi chuyển vận chuyển hàng hóa của Đức và Áo sau đó tại các cảng của Mỹ: 27 tàu thuộc sở hữu của Đức ở riêng cảng New York.^[38] “Chiều hôm đó,” sử gia William Lowell Putnam ghi nhận, “một nhóm các nguyên soái Mỹ điều hành qua kho cảng của các tuyến Bắc Đức-Lloyd và Hamburg-Mỹ ở Hoboken để chính thức tịch thu mọi thứ trong tay nhân danh nước Mỹ mới tham chiến.” Một vài thành viên của thủy thủ đoàn người Đức được phép ở lại trên tàu làm người trông giữ, một sai lầm đắt giá. Nhóm lính gốc Đức đã đáp trả bằng sự phá hoại. Một sĩ quan hải quân kiểm tra các tàu sau đó phát hiện “tất cả các bộ phận bằng gang đã bị đập vỡ.”^[39]

Các xưởng đóng tàu của Mỹ chuyển sang hàn điện để sửa chữa số lượng lớn tàu bị người Đức phá hoại. Mặc dù thiệt hại lớn, việc sửa chữa chỉ mất bốn tháng.^[40] Đến tháng 3 năm 1918, khi sĩ quan hải quân báo cáo lại, các con tàu có thể “đi ba hoặc bốn chuyến mà không có vấn đề.”^[41] Trong vòng tám tháng, các xưởng đóng tàu đã sửa chữa hơn 100 tàu, kịp thời mang theo đạn dược, tiếp tế và một nửa triệu lính Mỹ đến châu Âu.^[42]

Sự phát triển đó đã dẫn đến việc mở rộng nghiên cứu về công nghệ hàn ứng dụng trong đóng tàu khi Hải quân Mỹ tham chiến. “Tàu, tàu, và nhiều tàu khác cần sửa chữa là tình hình chung,” Bộ trưởng Hải quân Josephus Daniels tuyên bố vào tháng 2. “Chúng ta phải có nhiều tàu hơn để chiến thắng cuộc chiến.”^[43] Người Anh đã phải đối mặt với nhu cầu oxy rất lớn và cacbua để hàn oxyacetylene kể từ khi bắt đầu chiến tranh quân đội, đến mức họ chuyển sang sử dụng hàn điện như là một sự thay thế - và thấy nó vượt trội cho hầu hết các trường hợp hàn mỏ, bom, tàu nhỏ và thậm chí là xà lan.^[44] Hội đồng Tàu thuyền Mỹ đã đề nghị Hải quân Anh cho mượn một sĩ quan kỹ thuật lành nghề hàn để xem xét tình trạng hoạt động của xưởng đóng tàu Mỹ.

Thuyền trưởng James Caldwell của Hải quân Hoàng gia Anh đã đến Mỹ vào giữa tháng 2 năm 1918 và dành ba tháng tiếp theo để tham quan các bến tàu và nhà máy ở Bồ Đông cho cái mà ông gọi là “khảo sát về hàn.”^[45] Bên cạnh các chuyến khảo sát, Caldwell đã đi thăm tàu SS *Prinzess Irene* của Đức tại Xưởng Hải quân Brooklyn vào ngày 9 tháng 3. Con tàu đã liên tục chuyển quân đến châu Âu. Caldwell đã học được từ kỹ sư trưởng của mình rằng “không có rắc rối nào xảy ra với các bộ phận động cơ được sửa chữa bằng hàn điện.”^[46]

Caldwell kết luận rằng thiệt bị và vật liệu hàn sẽ không tốn nhiều hơn đình tán, chưa kể giảm chi phí lao động đáng kể. “Một thợ giờ có thể làm việc bằng một đội 4 đến 5 người thêm một thợ xảm tàu chống thấm,”^[47] ông ước tính. Và vì các tấm có thể được hàn cạnh với cạnh chứ không phải chồng chéo lên nhau, tàu hàn sẽ nhẹ hơn. “Phụ nữ cũng có thể hàn như nam giới, tờ *American Marine Engineer* tuyên bố, có vẻ thẳng thắn, sau khi xem báo cáo của Caldwell. Và, có lẽ phản ánh những mất mát khủng khiếp của binh lính Anh trên Mặt trận phía Tây, “Ngay cả những người cụt một tay cũng có thể hàn.”^[48]



Hàn điện cho phép đóng hàng loạt tàu Mỹ

Hải quân Mỹ đặt đóng một đội tàu gồm 110 tàu chở hàng và 12 tàu chở quân để vận chuyển người và trang thiết bị chiến tranh đến châu Âu. Hàn điện cùng với đỉnh tán cho phép đóng tàu hàng loạt, và mặc dù không có tàu nào kịp hạ thủy trước khi kết thúc chiến tranh, dự án đóng tàu này đã cách mạng hóa công nghệ đóng tàu của Mỹ.

Ngành đóng tàu bị đình trệ trở lại sau chiến tranh - cuộc Đại Suy thoái đến sớm đối với ngành công nghiệp đóng tàu nhưng công nghệ hàn vẫn phát triển và tìm được ứng dụng mới trong xây dựng đường ống. Năm 1925, Công ty Dầu khí Magnolia ở Galveston, Texas, đã xây dựng lại một đường ống khí đốt tự nhiên bị rò rỉ dài 320 km với đường ống hàn acetylene. Sau năm năm phát triển tiếp - các công ty khác đã đi theo Magnolia - hàn điện đã thay thế acetylene, loại bỏ mối hàn chằng chéo, sử dụng ít đường ống và giảm một nửa thời gian hàn. Thép hợp kim cũng rất quan trọng để cải thiện đường ống giống như đã cải tiến máy đào và máy nén khí. Đến năm 1931, các công nhân đường ống đã đặt đường ống khí đốt tự nhiên nghìn cây số đầu tiên từ vùng Texas Panhandle đến Chicago. [49]

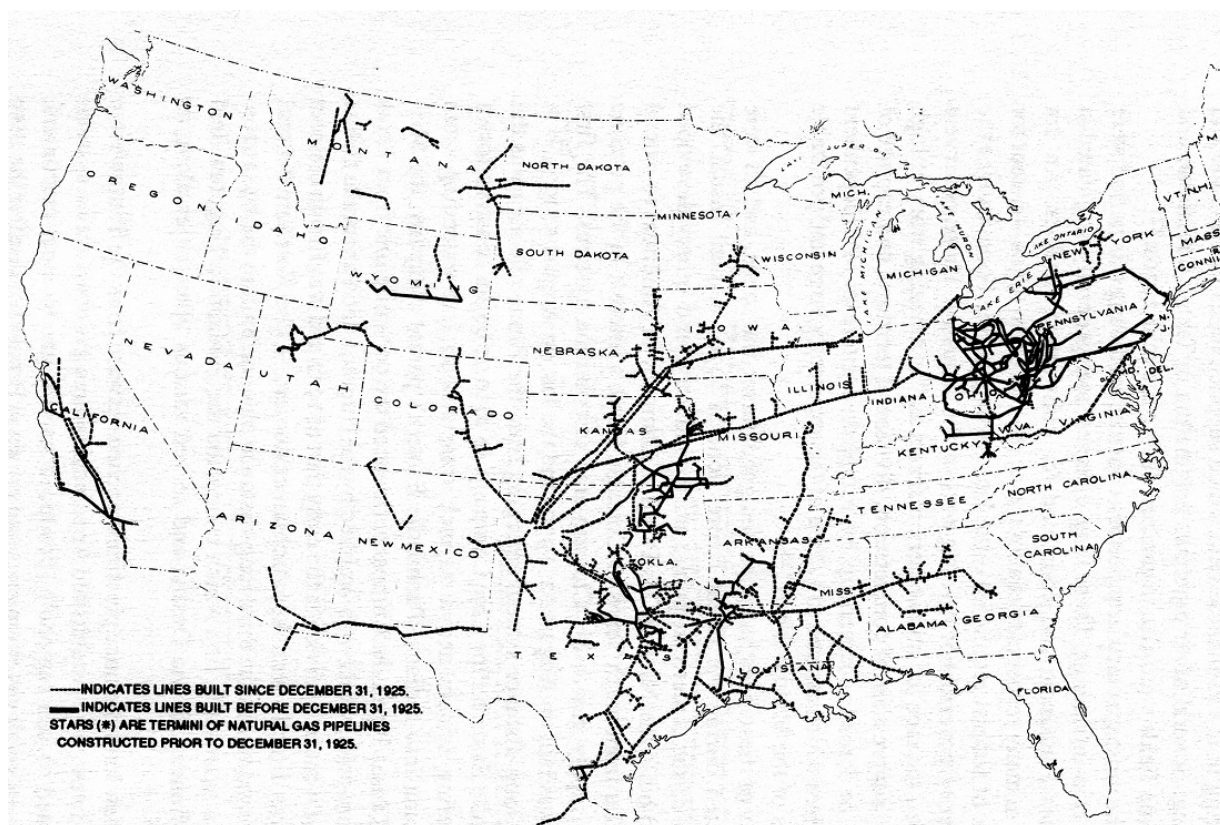
Khí tự nhiên có lợi thế hơn khí nhân tạo: nó giàu năng lượng gấp đôi; nó đốt sạch hơn; và vì nó được khoan lên thay vì sản xuất giúp giá rẻ hơn rất nhiều - vào năm 1930, rẻ hơn khoảng ba lần trên một triệu Btus, (32) có

nghĩa là hứa hẹn lợi nhuận lớn hơn cho các nhà cung cấp. Nhược điểm của nó bao gồm chi phí đường ống cần thiết để chuyển từ các mỏ khí đến khách hàng (thường là người sử dụng dân cư đô thị) và sự không chắc chắn về khối lượng dự trữ khí đốt. Vấn đề này cũng buộc Pittsburgh phải từ bỏ khí đốt tự nhiên để chuyển sang than.^[50] Việc đi đầu chỉnh hàng chục nghìn thiết bị gia dụng để xử lý khí tự nhiên có hàm lượng nhiệt cao hơn đòi hỏi phải đầu tư lớn vào khâu nhân viên phục vụ. Các công ty khí đốt đã thu hồi một phần tiền đầu tư của họ bằng cách đào tạo nhân viên phục vụ của hãng bán các thiết bị gia dụng hỗ trợ.

Công nghệ đường ống phát triển với nhu cầu ngày một tăng, mặc dù sự hợp tác giữa các công ty khí đốt trong thời kỳ mạnh ai nấy làm của những năm 1920 và 1930 khiến việc phân phối trở nên phức tạp. Việc ước tính trữ lượng cũng dần cải thiện về mặt chiến lược, từ việc khoan giếng thử nghiệm theo một vòng tròn mở rộng xung quanh giếng để tìm các cạnh của một trường khí, tới việc ước tính thể tích khí dựa trên các mô hình địa chất. Những mỏ lớn được khám phá - như Panhandle Field vào năm 1918 ở Bắc Texas, Hugoton Field vào năm 1922 quanh Kansas, Oklahoma và Texas - giúp xoa dịu các lo ngại bước đầu về trữ lượng sẽ sớm cạn kiệt. Panhandle và Hugoton cùng nhau chiếm khoảng 16% tổng lượng khí đốt tự nhiên của Mỹ trong thế kỷ 20, hơn 3 nghìn tỉ mét khối.^[51] Ít nhất 29 thành phố lớn chuyển đổi sang khí đốt tự nhiên từ năm 1927 đến năm 1936: từ San Diego, Los Angeles, và San Francisco, đến Phoenix, Denver và Omaha, tới Detroit, Memphis, và Atlanta, và về phía đông đến tận Richmond, Pittsburgh và Buffalo. Chicago, nơi đầu tư rất nhiều vào khí đốt nhân tạo, cũng chuyển đổi sang khí hỗn hợp: khí nhân tạo được tăng cường với hàm lượng nhiệt cao hơn nhờ khí tự nhiên. Đến năm 1940, mạng lưới đường ống dẫn khí quốc gia dù chưa hoàn thành đã đi từ Texas và Louisiana qua Trung Tây và về phía đông vào Pennsylvania.

Bất chấp việc mở rộng quy mô, một lượng lớn khí đốt đã bị lãng phí. Khí ướt - khí đốt trộn lẫn với dầu mỏ thường xuyên được thổi vào bầu khí quyển hoặc bùng lên. Khí đốt thường được để cho phun vào không khí, đôi khi trong nhiều năm, khi các thợ khoan bỏ lại những hố cạn. Một báo cáo của ủy ban Thương mại Liên bang Mỹ năm 1935 trước Quốc hội ước tính rằng hơn 20% lượng khí đốt đã bị *lãng phí* trên toàn quốc giai đoạn 1919-

1930 so với lượng tiêu thụ: lãng phí 124 triệu mét khối so với 99,67 tỉ mét khối được tiêu thụ.^[52]



Đến năm 1940, các đường ống khai thác các mỏ khí ở Texas và Louisiana đã mở rộng qua miền Trung Tây và tiến về phía đông vào Ohio, Pennsylvania và miền Đông Nam của Mỹ.

Thiếu đường ống để cung cấp khí đốt cho thị trường là một nguyên nhân lớn gây lãng phí nhưng “các công ty khoan dầu của Texas,” sử gia Christopher Castaneda kết luận, “chỉ quan tâm đến việc tìm ra ‘vàng đen’, đã tiếp tục gây thất thoát hàng nghìn tỉ feet khối ‘khí thải’ vào bầu khí quyển.”^[53] Vấn đề nóng lên toàn cầu vẫn chưa xuất hiện trong nhận thức của công chúng, khí tự nhiên - mê-tan - gây hiệu ứng nhà kính gấp 30 lần so với carbon dioxid. Không ai tính được lượng khí thải khổng lồ trong suốt nửa thập niên của thế kỷ 20 ở Mỹ và trên toàn thế giới đã đóng góp vào sự nóng lên toàn cầu. Tỷ lệ này chắc chắn lớn hơn không.

Trong những năm 1930, khu vực chưa dùng khí đốt tự nhiên là miền Đông Bắc, nơi khí đốt nhân tạo và than tiếp tục chiếm ưu thế. Vào thế kỷ 19, New England thiếu các tài nguyên khác, nổi tiếng với việc bán đá granit và băng; nền đất khu vực này là đá lửa và đá biến chất không thuận

lợi cho dầu mỏ và hình thành khí. Cuối năm 2001, Pennsylvania và New York có trữ lượng khí đốt tự nhiên chỉ ở mức 59,27 tỉ mét khối so với tổng trữ lượng 5.195 tỉ mét khối của Mỹ, xếp lần lượt ở hạng thứ 15 và 22 trên tổng số các bang. Phần còn lại của New England và các bang ở Trung-Đại Tây Dương - gồm Connecticut, Maine, Massachusetts, New Hampshire, New Jersey, Rhode Island, Vermont cũng như Delaware và Maryland - chỉ sản sinh được rất ít hoặc không có khí đốt tự nhiên.

Một thách thức khác đã xuất hiện trong Thế chiến II nhưng chính thách thức đó sẽ khắc phục một cách tình cờ vấn đề thiếu khí đốt tự nhiên vùng Đông Bắc. Chiến tranh bắt đầu ở châu Âu với cuộc xâm lược Ba Lan của Đức vào ngày 1 tháng 9 năm 1939. Tại thời điểm đó, Mỹ chiếm hơn 60% tổng sản lượng dầu thế giới, với năng suất hơn một triệu thùng mỗi ngày.^[54] Năng suất đó sẽ cho phép Mỹ cung cấp nhiên liệu cho các nước đồng minh trong suốt cuộc chiến. Ngay cả trong thời kỳ trung lập chính thức của Mỹ, từ tháng 9 năm 1939 cho đến khi Nhật tấn công Trân Châu Cảng vào ngày 7 tháng 12 năm 1941, các chuyến tàu chở dầu đã hỗ trợ cho toàn bộ các đồng minh.

Một đội tàu đã chở dầu từ Bờ Vịnh quanh Florida lên Bờ Đông để cung cấp cho các thành phố phía Đông rồi chuyển đến Anh và châu Âu. Đức tuyên bố chiến tranh sau khi liên minh với Nhật vào ngày 11 tháng 12 năm 1941. Đức đã gửi một lực lượng tàu ngầm nhỏ dưới quyền Đô đốc và Chỉ huy tàu ngầm Karl Donitz để tấn công các tàu chở dầu không được bảo vệ. Donitz đã yêu cầu 12 tàu ngầm. Hitler, vào thời điểm đó ưu tiên sự hỗ trợ của người Thổ Nhĩ Kỳ trong chiến dịch của ông ta ở Bắc Phi, chỉ trao cho đô đốc năm tàu ngầm. Donitz đã chọn những thủy thủ đoàn ưu tú nhất, và trong sáu tuần từ ngày 11 tháng 1 đến ngày 28 tháng 2 năm 1942, đội tàu ngầm này đã rình rập ở Bờ Đông nước Mỹ và tấn công ít nhất 74 tàu chở dầu, đánh chìm 46 chiếc và làm hỏng 16 chiếc.^[55] Các tàu ngầm Đức thì không mất mát gì. “Tàu ngầm của chúng tôi đang hoạt động gần bờ dọc theo bờ biển của Hợp chúng quốc Hoa Kỳ,” Donitz báo cáo, “cho nên những người tắm biển và đôi khi toàn bộ các thành phố ven biển trở thành chứng nhân của tấn kịch chiến tranh, với cao trào là ánh hào quang đỏ rực từ tàu chở dầu bốc cháy.”^[56]

Từ mức 1,4 triệu thùng được giao hàng ngày từ Bờ Vịnh đến Đông Bắc vào mùa xuân năm 1941, việc giao hàng giảm xuống chỉ còn 100.000 thùng

mỗi ngày trong vòng chưa đầy hai năm.^[57] Tại một cuộc họp vào tháng 3 năm 1942, Ủy ban Hội đồng Công nghiệp Dầu khí Thời chiến nói với hải quân rằng nếu sự suy giảm tàu chở dầu tiếp tục với tỉ lệ cao như vậy thì sẽ không thể cung cấp dầu cho cuộc chiến đến hết năm.^[58] Adolphus Andrews, đô đốc hải quân hậu phương, người chỉ huy phòng thủ bờ biển Đại Tây Dương, đã cảnh báo bộ trưởng hải quân một tháng sau đó rằng “chìm tàu, nhất là tàu chở dầu trên bờ biển là một vấn đề nghiêm trọng, nếu tiếp tục sẽ gây hậu quả thảm khốc cho nỗ lực chiến tranh của Mỹ.” Yêu cầu nhiều tàu hơn để giao chiến với tàu ngầm Đức, Andrews nhấn mạnh yêu cầu cấp bách này: “Nếu các lực lượng không được cung cấp hậu cần trong tương lai gần, thì nên *xem xét việc dừng các chuyến tàu chở dầu* cho đến khi có tàu hộ tống.”^[59]

Hải quân thiếu các tàu hộ tống vũ trang đầy đủ để duy trì một đội hộ tống toàn diện chiến lược. Vì đô đốc đề nghị thiết lập một hệ thống hộ tống ven biển tạm thời. Lữ đoàn Xô (Bucket Brigade) này, như ông đặt tên, đã hộ tống các tàu chở dầu xung quanh các điểm nguy hiểm chẳng hạn như North Carolina, Mũi Hatteras ở Carolina và lập rào chắn an toàn cho chúng trong thời gian thả neo vào ban đêm.^[60] Donitz tăng tần suất tấn công, nhưng Lữ đoàn Xô đã tỏ ra hiệu quả. Mất mát giảm dần. Donitz sau đó đưa đội tàu ngầm sát thủ tiến vào biển Caribe và tiếp tục đánh đắm tàu chở dầu. Với sự phát triển của tàu khu trục chống tàu ngầm cùng tàu và radar không vận sau đó, tàu ngầm của người Đức phải rút lui. Trong khi đó, Mỹ đã triển khai một biện pháp bảo vệ hiệu quả hơn cho việc cung cấp dầu ở phía đông bắc: đường ống dẫn trên đất liền, lớn nhất và dài nhất từng được xây dựng ở bất cứ đâu trên thế giới.

Đường ống dẫn dầu đã được làm lớn hơn và dài hơn kể từ khi đường ống 2 và 3 inch đầu tiên vận chuyển dầu thô từ Sông Dầu ở Pennsylvania từ miệng giếng đến đường sắt vào năm 1863. Đến đầu thế kỷ 20, kích thước đường ống đã được chuẩn hóa ở 20 cm vì các ống lớn hơn có xu hướng bị nứt tại các mối nối. Nhưng đường ống 8 inch chỉ có thể cung cấp khoảng 20.000 thùng một ngày, trong khi vào năm 1930, một nhà máy lọc dầu lớn có thể xử lý tới 125.000 thùng một ngày. Giải pháp ban đầu cho nút thắt này là “vòng lặp”: đặt một đường ống thứ hai dọc theo đường ống đầu tiên.^[61] Vào những năm 1930, những tiến bộ công nghệ thép cho phép các nhà sản xuất chế tạo các ống thép liền mạch đường kính hơn 12 inch

mà ngành công nghiệp dầu mỏ gọi là đường ống “big-inch cỡ lớn. Tuy nhiên, suy giảm cầu trong thời Đại Suy thoái đã không đặt ra nhu cầu cơ sở hạ tầng mới. Chỉ có khoảng 16.000 km đường ống được đặt tại Mỹ trong thập niên đó.^[62]

Để ngăn chặn mối đe dọa tàu ngầm Đức, một tập đoàn gồm 11 công ty dầu tư nhân mang tên Đường ống Khẩn cấp Thời chiến được thành lập vào ngày 25 tháng 6 năm 1942 nhằm xây dựng một hệ thống đường ống của chính phủ để vận chuyển xăng dầu từ Đông Texas đến các nhà máy lọc dầu miền Đông Bắc. Việc xây dựng bắt đầu vào ngày hôm sau.^[63] Đường ống Big Inch sẽ có đường kính 24 inch và dài 2018 km, với trạm bơm mỗi 80 km, có khả năng vận chuyển 335.000 thùng dầu thô mỗi ngày, hệ thống đường ống lớn nhất và dài nhất từng được xây dựng vào thời kỳ đó.



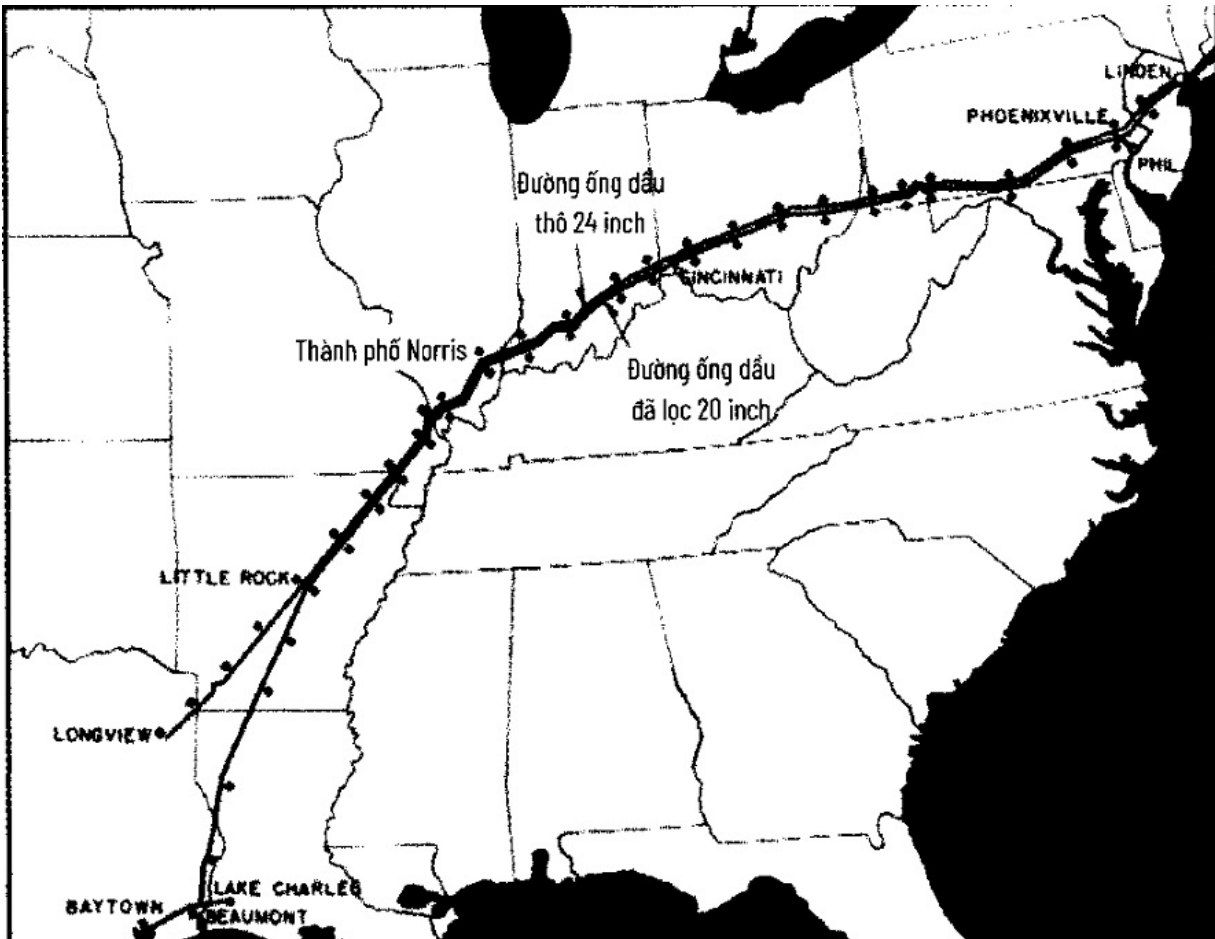
Ống Big Inch 24 inch tại một ngã tư đường sắt, chờ đợi để được hàn lại với nhau, quét nhựa đường, bọc trong giấy bảo vệ, và đặt trong một con mương xuyên quốc gia dài 2.018 km.

Trước khi hàn, có một người công nhân nằm trên tấm giẻ lau được kéo qua từng đoạn ống để lau những bức vách bên trong bằng giẻ, giống như thợ quét ống khói trần truồng thời Georgia ở Anh đội những chiếc mũ phốt mền và làm sạch ống khói. Sau khi bơm một dòng phun nước⁽³³⁾ dài 80 km qua đường ống để kiểm tra rò rỉ, các nhà khai thác chuyển dầu thô qua phần đầu tiên của ống Big Inch vào ngày cuối cùng của tháng 12 năm 1942.

Một đường ống thứ hai đường kính 20 inch đặt song song, Little Big Inch, đã được đề xuất đặt cạnh người anh lớn của mình tại cuộc họp ban đầu năm 1942 của ủy ban Hội đồng Công nghiệp Dầu khí Thời chiến. Nó sẽ dẫn xăng, dầu hỏa, dầu diesel và dầu nóng. Little Big Inch bắt đầu được triển khai, nó sẽ chia sẻ các trạm bơm của Big Inch vào tháng 2 năm 1943. “Công nhân đào một con hào sâu bốn feet và rộng ba feet,” theo báo cáo lịch sử dự án của hai đường ống, “và đặt đường ống qua dãy núi Allegheny, qua đầm lầy và rừng, dưới 30 lòng sông và 200 con lạch và hồ nước, ngầm dưới đường phố, đường sắt, và qua đồng cỏ, thường trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt. Tổng lượng đào là hơn 2,4 triệu mét khối đất⁽³⁴⁾, và toàn bộ công việc phải thực hiện nhanh hơn bất cứ ai từng đặt đường ống trước đây.” Một con hào đi qua sông Mississippi cho phép họ đặt ống dẫn ở đó.^[64] Đầm lầy thủy triều ở phía đông New Jersey phải được lấp đầy bằng đất để tạo ra một móng nổi lớn nhưng không đến mức kỳ công như đường ray nổi của Robert Stephenson qua Chat Moss.

Thiếu 15 ngày là đủ một năm sau khi bắt đầu xây dựng đường dẫn Big Inch, vào ngày 19 tháng 7 năm 1943, trong một buổi lễ khởi công gần Phoenixville, Pennsylvania, người ta ăn mừng đường hàn cuối cùng của nó. “Dầu mỏ đã bắt đầu chảy vào đường ống phía đông vào năm ngày trước đó,” theo báo cáo dự án. “Đường ống được bơm đầy với tỉ lệ 100.000 thùng mỗi ngày, di chuyển về phía đông ở mức 40 dặm mỗi ngày. Cần 2,6 triệu thùng phuy để lấp đầy phần mở rộng phía đông và tổng cộng năm triệu thùng để chứa toàn bộ dầu của tuyến đường ống giữa Texas và Bờ Đông.”^[65] Xăng bắt đầu di chuyển qua Little Big Inch vào ngày 26 tháng 1 năm 1944, sau khi một dòng phun nước được bơm để thử thủy tĩnh. (Các quả bóng cao su đặc nhỏ hơn đường kính ống trong một chút giúp giữ riêng các lô chất lỏng khác nhau đúng như Little Big Inch được thiết kế để xử lý.^[66]) Dòng xăng chảy đến New Jersey sau 36 ngày, vào

ngày 2 tháng 3 năm 1944. Tổng cộng 185 triệu thùng dầu và thành phẩm được chuyển qua hai đường ống trong năm đầu tiên hoạt động.^[67]



Các đường ống dẫn dầu Big Inch (từ Longview, Texas) và Little Big Inch (từ Beaumont, Texas), trải dài hơn 1.900 km trên khắp nước Mỹ. Sau chiến tranh, chúng sẽ được chuyển đổi để dẫn khí đốt tự nhiên đến miền Đông Bắc. Các chấm đen chỉ trạm bơm.

Khi Thế Chiến II kết thúc với sự thất bại của Đế quốc Nhật Bản vào tháng 8 năm 1945, các thiết bị quân sự và công nghiệp trị giá hàng tỉ đô-la trở thành đồ thừa hậu chiến. Các đường ống Big Inch và Little Big Inch ngừng hoạt động và được đặt ở chế độ chờ. Một cuộc tranh luận gay gắt giữa chính phủ, ngành công nghiệp dầu mỏ và các tổ chức lao động xem nên làm gì với chúng. Năm 1944, một giám đốc điều hành dầu mỏ có tên Sidney A. Swensrud, đến từ Iowan và tốt nghiệp Trường Kinh doanh Harvard khóa 1927 sau đó trở thành trợ lý cho chủ tịch của Standard Oil Ohio, đã đề xuất một câu trả lời tao nhã: chuyển đổi chúng để dẫn khí đốt tự nhiên từ các mỏ khí Texas dồi dào và không được sử dụng đến vùng

Đông Bắc, nơi không có khí đốt tự nhiên và vẫn phụ thuộc vào khí đốt nhân tạo đắt tiền trong dân dụng và công nghiệp.

“Với một thị trường lớn chưa được khai thác ở một đầu và nguồn cung cấp [khí đốt] lớn ở một đầu,” Swensrud phát biểu trong một cuộc gặp gỡ thời chiến giữa các kỹ sư dầu khí ở Thành phố New York, “cùng với sự kết hợp khi đề không của các đường ống, khả năng sử dụng... đường ống sau chiến tranh rõ ràng có vẻ đáng xem xét.”^[68] Nó có thể phục vụ tới 15 triệu dân, ông nói. Họ đã sử dụng khí nhân tạo để nấu ăn và đun nước. Nhưng hầu như chưa có hộ nào được sưởi ấm bằng khí đốt. Nửa triệu căn nhà trong khu vực đó có thể chuyển sang dùng khí đốt tự nhiên, Swensrud ước tính. Thị trường nhà ở sẽ nở rộ khi những cựu chiến binh hồi hương, kết hôn và định cư. Phần lớn nhà ở mới có thể được trang bị khí đốt tự nhiên nếu nó được cung cấp ở mức giá hợp lý. Khách hàng cũng chuộng khí đốt tự nhiên: “cửa hàng, văn phòng, tiệm bánh, khách sạn, nhà hàng,... tạo thành một thị trường rất đáng chú ý.”^[69] Và khi đã quen với khí đốt tự nhiên có giá trị nhiệt vượt trội, khí được chuyển đến vùng Đông Bắc sẽ có chi phí thấp hơn chi phí sản xuất khí nhân tạo.^[70]

Sự phản đối mạnh mẽ nhất với việc chuyển đổi đường ống dẫn khí tự nhiên đến từ Liên hiệp Công nhân Mỏ, những công nhân khai thác than của Mỹ, được dẫn dắt bởi nhà lãnh đạo hung hăng và có tầm ảnh hưởng của họ, John L. Lewis. Sinh ra ở Iowa vào năm 1880, ông là con trai của một người khai thác than xứ Wales, với cái đầu như sư tử cùng năng khiếu hùng biện đầy nhiệt huyết, Lewis đã huy động 600.000 công nhân Mỏ United đình công ngay sau khi việc kiểm soát tiền lương và giá cả được dỡ bỏ sau khi Thế Chiến II kết thúc. Sự kiện đó khiến ông không gây được thiện cảm với Harry S. Truman, người đã trở thành tổng thống sau cái chết của Franklin Roosevelt vào tháng 4 năm 1945.^[71] Truman đã ghi chú lại, được bảo quản trong các giấy tờ của ông, mô tả góc nhìn của ông về những gì xảy ra kế tiếp:

Lewis huy động một cuộc đình công trong ngành than vào mùa xuân năm 1946. Không có lý do chính đáng. Ông ta làm vậy sau khi đồng ý tiếp tục đàm phán... Ông ta sử dụng một mánh cũ đó là những người khai mỏ không chịu làm việc khi họ không nhận được giao kèo.

Sau khi đàm phán kéo dài, tôi quyết định thực hiện các quyền hạn theo đạo luật thời chiến số hai và tiếp quản các mỏ. Sau khi mỏ được tiếp quản, một giao kèo đã được thương lượng... Giao kèo được ký kết tại văn phòng của tôi vào mùng 5 tháng 5, và Lewis tuyên bố trong phim tài liệu⁽³⁵⁾ rằng đó là giao kèo có lợi nhất cho ông và sẽ không bị phá vỡ trong thời gian Chính phủ kiểm soát các mỏ...

Nhưng ông Lewis muốn chắc chắn rằng tổng thống sẽ rơi vào thế khó xử nhất có thể trong cuộc bầu cử Quốc hội vào ngày 6 tháng 11. Vậy nên ông ta đã gửi một thông báo vào ngày đầu tiên của tháng 11 rằng sẽ xem xét giao kèo vào một ngày nhất định. Đó là, trong thực tế, kêu gọi đình công vào ngày đó...

Cuộc đình công này... kéo dài 17 ngày, và sau đó ông Lewis nhận ra lần đầu tiên trong đời “mình đã với cao quá.”

[Đến lúc đó], nó trở thành một cuộc chiến quyền lợi một mất một còn, bằng mọi biện pháp hợp pháp có thể và bằng vũ lực nếu đi đâu đó trở nên cần thiết để mở cửa trở lại. Ông Lewis đã bị đưa ra Tòa án Liên bang, bắt nộp phạt tội chống đối tòa. Tòa án bắt đầu cưỡng ép thi hành giao kèo, và tôi đã chuẩn bị một bài diễn văn... [Nhưng] Ông Lewis đã thúc thủ.... Ông ta, như tất cả những kẻ bắt nạt người khác, hèn nhát như một con chó nhốt trong chuồng.... Tôi đã có một đội ngũ hoàn toàn trung thành, và họ đã xử thứ phản bội chết tiệt đó.^[72]

(Sự phản phé của Lewis càng rõ rệt khi *Washington Post* báo cáo rằng ông ta đã chuyển đổi ngôi nhà ở Springfield, Illinois của mình từ dùng than đá sang dùng khí đốt tự nhiên vào năm 1945.^[73])

Tháng 11 năm 1946, việc Lewis kêu gọi một cuộc đình công khác lại tiếp thêm sinh lực cho những người thúc đẩy chuyển đổi đường ống Inch sang khí đốt tự nhiên, thay thế than bất cứ nơi nào nó đi qua. Hạ viện Mỹ đã tổ chức các phiên điều trần về phân bố đường ống. Công ty Truyền tải Khí đốt Tennessee tạm thời thuê các ống dẫn để cung cấp khí đốt cho Appalachia, khu vực triền miên bị khủng hoảng năng lượng mùa đông. Trúng thầu vào ngày 8 tháng 2 năm 1947, Công ty Truyền tải Đông Texas đã mua hệ thống đường ống Big Inch và Little Big Inch để dẫn khí đốt tự nhiên đến miền Đông Bắc Mỹ với giá 143,1 triệu đô-la, chỉ thấp hơn 2,5 triệu đô-la so chi phí xây dựng ban đầu của cả hai đường ống. Chúng vẫn hoạt động cho đến ngày hôm nay.

Đến năm 1950, ba loại nhiên liệu hóa thạch chính là than đá, dầu mỏ và khí đốt tự nhiên đều phục vụ cho nhu cầu năng lượng lớn của Mỹ và, ở mức độ khác nhau, cho phần còn lại của các nước phát triển. Nếu thị phần than đá đang giảm trên toàn thế giới thì xăng dầu đang tiến đến sự thống trị, và khí đốt tự nhiên mới chỉ bắt đầu xâm nhập thị trường thế giới. Trong những năm sau chiến tranh, một nguồn năng lượng hoàn toàn mới, phân hạch hạt nhân, là nguồn năng lượng lớn tiềm năng đầu tiên không có nguồn gốc trực tiếp hoặc gián tiếp từ ánh sáng mặt trời, đã bị ẩn sau những bức tường bí mật, chỉ được sử dụng độc quyền trong tay quân đội.

HẾT CÔNG SUẤT VÀO NĂM 1957

Vào buổi chiều mùa đông lạnh lẽo ngày 2 tháng 12 năm 1942, trong một sân bóng quần vợt bỏ hoang dưới khán đài của sân vận động bóng đá Đại học Chicago, nhà vật lý đoạt giải Nobel Enrico Fermi, một người tị nạn trốn khỏi Phát xít Ý, bình tĩnh kích hoạt phản ứng phân hạch hạt nhân được kiểm soát đầu tiên trên thế giới. Ngoài thanh điều khiển bằng cadmium vận hành bằng tay, không gì chuyển động trong khối than chì to bằng nhà để xe và thanh uranium tự nhiên mà Fermi và đội ngũ các nhà khoa học đã xếp chồng lên nhau bằng tay hai tháng trước. (Fermi gọi cấu trúc này là một cái “lò” vì sự xếp chồng đó.) Lò phản ứng này không cần che chắn phóng xạ. Năng lượng mà nó tạo ra bằng cách phân tách - “phân hạch” - các nguyên tử Uranium, chỉ ở mức 200 watt, thậm chí không đủ để sưởi ấm sân bóng. [1] Tuy nhiên thí nghiệm đã biến đổi, tạo ra được cả năng lượng hạt nhân và bom nguyên tử.

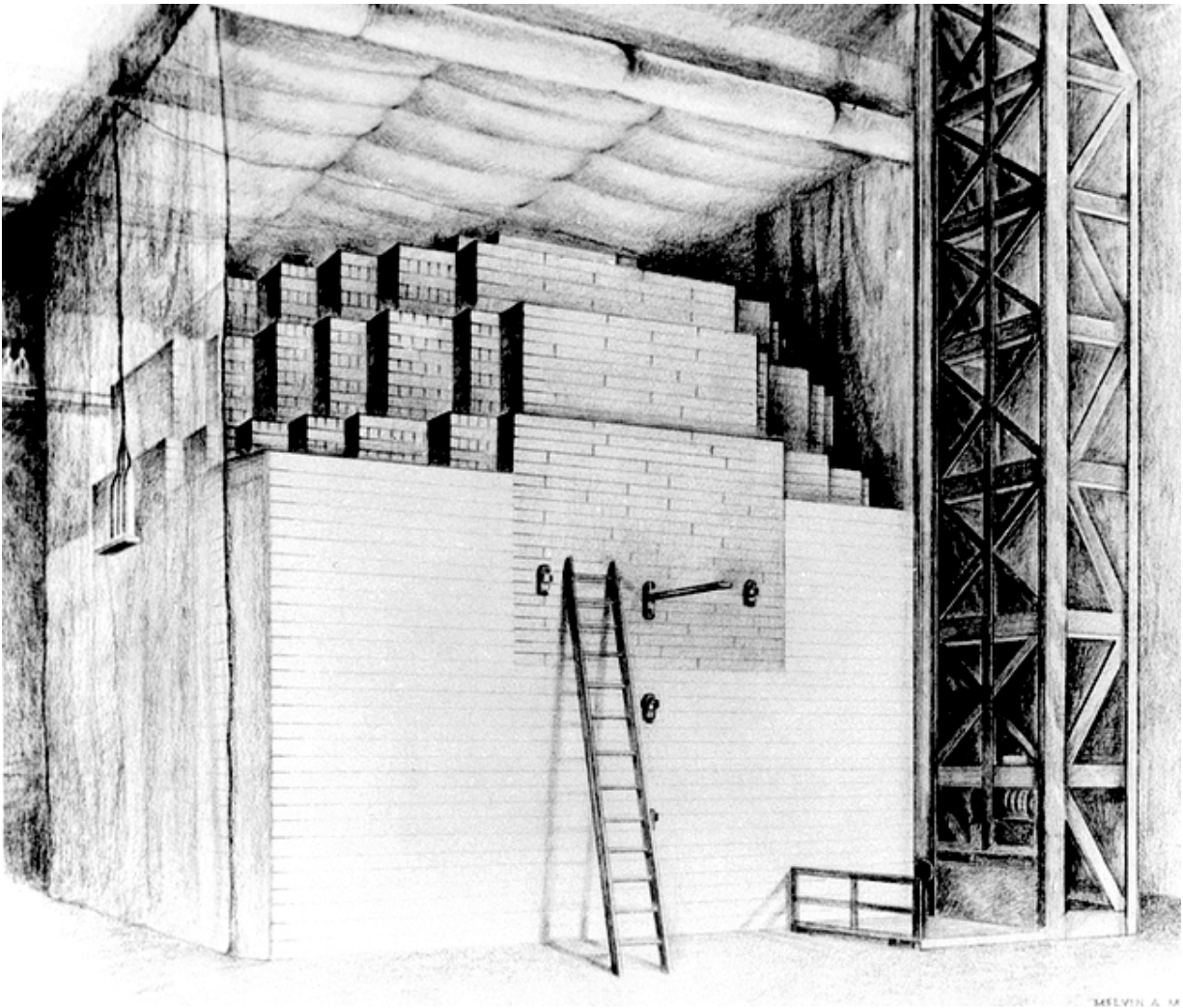
Một lò phản ứng hạt nhân cần hai vật liệu cơ bản: một yếu tố phân hạch như uranium và một chất làm chậm. Chức năng của chất làm chậm đúng như tên gọi của nó, là để làm chậm các neutron phát ra từ một nguyên tử uranium khi nó phân hạch, tăng cơ hội gặp gỡ và xâm nhập một nguyên tử khác của uranium và gây ra sự phân hạch khác. Đối với CP-1 - Lò Chicago số 1 - chất làm chậm là than chì. Đối với hầu hết các lò phản ứng ngày nay, chất làm chậm là nước. Chất làm chậm đã làm chậm neutron bằng cách cho chúng một đối tượng - ở than chì chính là hạt nhân của một nguyên tử carbon - có thể bật đi bật lại liên tục, mất đi năng lượng với mỗi lần nảy giống như các quả bóng bi-a đập vào nhau.



Lắp ráp Lò Chicago số 1 (CP-1) với các khối than chì và thanh uranium tự nhiên.

Lưu ý thanh uranium ở bên phải của người công nhân quỳ trên đỉnh lò.

Nguyên tử uranium có tính không ổn định. Nó rung lắc như những quả bóng bay đầy nước. Lực giữ chúng lại với nhau, được gọi là lực mạnh hay lực tương tác mạnh, gần như hoàn toàn đối trọng với lực cố gắng đẩy chúng ra xa nhau: điện tích dương của 92 proton tạo nên hạt nhân của chúng. Theo quy luật, điện tích cùng chiều đẩy nhau, khác chiều thì hút nhau. Uranium là nguyên tố tự nhiên cuối cùng trong bảng tuần hoàn, nguyên tố số 92 vì sự bất ổn cố hữu này. Các nguyên tố cao hơn uranium - như neptunium (93), plutonium (94), v.v. - đều là các nguyên tố nhân tạo bằng cách bắn phá các nguyên tố tự nhiên bằng neutron hoặc với các hạt nguyên tử khác.



Lò CP-1 hoàn thiện trong khung gỗ. Lò than chì uranium lần đầu tiên được kích hoạt trong một sân bóng quần tại Đại học Chicago vào ngày 2 tháng 12 năm 1942.

Uranium tự nhiên là hỗn hợp của hai dạng biến thể vật lý, được gọi là đồng vị⁽³⁶⁾: uranium 238, với 92 proton và 146 neutron trong hạt nhân của nó ($92 + 146 = 238$) và uranium 235, cũng có 92 proton nhưng chỉ có 143 neutron trong hạt nhân của nó ($92 + 143 = 235$). Đồng vị mà có cả phản ứng phân hạch và phản ứng dây chuyền, giải phóng năng lượng, là U-235. Nhưng hầu hết uranium tự nhiên là U-238; U-235 là chỉ có khoảng 1/140, hay 0,7% - 7/10 của 1%. Thậm chí còn phức tạp hơn, hai đồng vị giống hệt nhau về mặt hóa học, điều đó có nghĩa là chúng không thể phân tách được bằng phản ứng hóa học. Chúng khác nhau về vật chất: U-238, thêm ba neutron, nặng hơn một chút. Vì vậy, nó có thể được tách ra một cách khó nhọc bằng cách tận dụng sự khác biệt nhỏ của chúng về khối lượng. Tách uranium đồng vị, còn được gọi là làm giàu, đòi hỏi các cơ sở quy mô công

nghiệp như nhà máy có nhiều máy ly tâm. Không có nhà máy nào như vậy tồn tại vào năm 1942. Tương tự như Henry Ford đã lắp ráp chiếc ô tô đầu tiên của mình trong một thế giới không có phụ tùng ô tô, Fermi cũng phải làm việc với uranium tự nhiên, bằng cách nào đó gây ra một phản ứng dây chuyền với lượng U-235 ít ỏi.

Sự khác biệt về cấu trúc hạt nhân giữa U-238 và U-235 tạo ra sự khác biệt về hiệu năng: U-238 không nhạy cảm với neutron chậm nhưng hấp thụ neutron nhanh và biến đổi thành một nguyên tố nặng hơn, neptunium, rồi nguyên tố này lại tiếp tục biến thành plutoni.⁽³⁷⁾ Nếu mục tiêu là phân hạch uranium để giải phóng năng lượng, U-238 là một phần có hại, vì nó hấp thụ neutron nhưng không giải phóng năng lượng. Năng lượng trong một lò phản ứng đến từ U-235, mà neutron của bất kỳ năng lượng nào cũng có thể phân hạch. Thách thức đối với Fermi là tìm cách khắc phục xu hướng hấp thụ neutron của U-238 ông đang cần để tạo ra phản ứng phân hạch dây chuyền trong U-235.

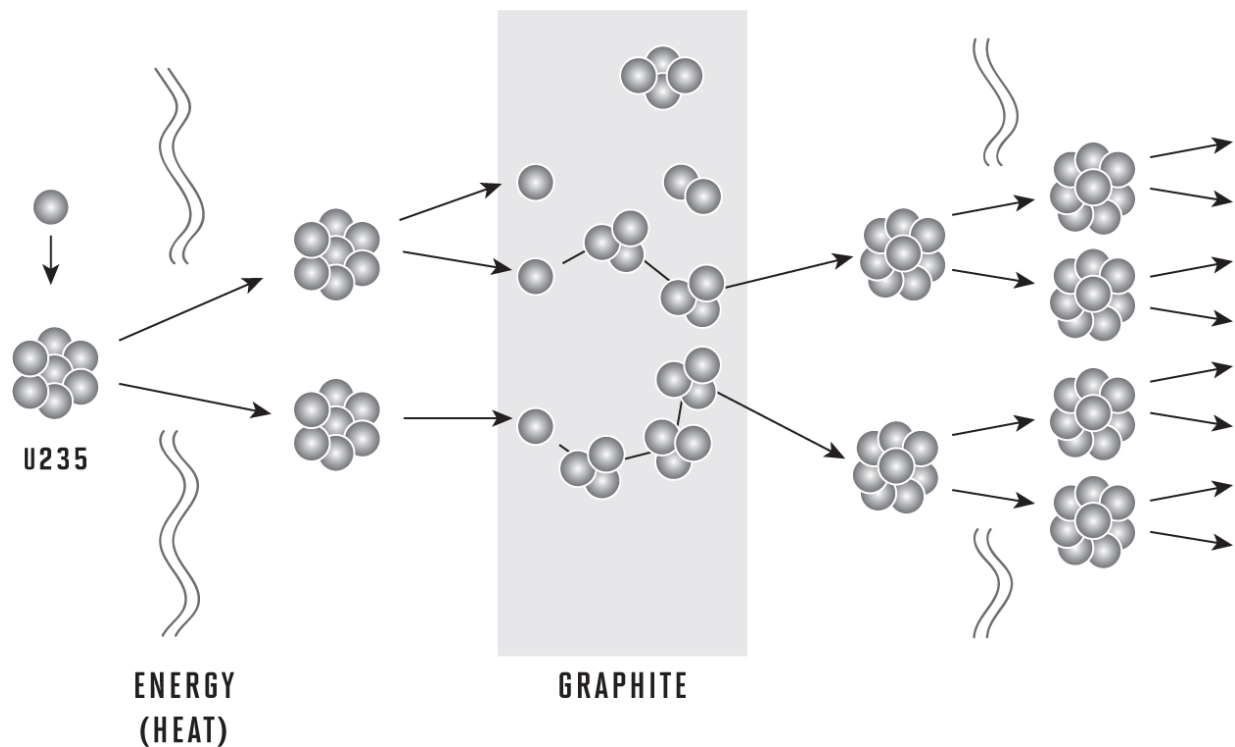
Fermi giải quyết đi đầu đó bằng cách tận dụng sự trợ của U-238 với các neutron chậm. Ông làm chậm các neutron nhanh mà uranium phân hạch tạo ra bằng cách nhúng uranium vào một ma trận than chì. Thoát khỏi các thanh của uranium, các neutron phân hạch va đập với các nguyên tử xung quanh của than chì. Chúng mất năng lượng với mỗi lần va chạm cho đến khi đủ chậm để giảm xuống dưới ngưỡng hấp thụ của U-238, gặp một nguyên tử U-235 mới và phản ứng phân hạch diễn ra.

Khi một nguyên tử U-235 phân hạch nó giải phóng năng lượng nhiệt và hai neutron thứ cấp hoặc nhiều hơn. Các neutron thứ cấp nếu được đi đầu tiết lần lượt có thể tiếp tục phân hạch các nguyên tử U-235 khác trong uranium tự nhiên theo chuỗi cấp số nhân: một giải phóng hai, hai giải phóng bốn, bốn giải phóng tám, tám giải phóng 16, 16 giải phóng 32, tăng gấp đôi cứ sau vài phần triệu giây cho đến khi sự giải phóng năng lượng từ các nguyên tử chúng phân hạch đủ lớn để đun nóng nước thành hơi, từ đó có thể quay tua-bin để quay máy phát điện.

Fermi đã sử dụng than chì chứ không phải nước để làm chậm lò CP-1 vì than chì hấp thụ ít neutron hơn nước. Uranium tự nhiên chứa quá ít U-235 để duy trì một phản ứng dây chuyền với nước làm chất làm chậm. Dùng nước làm chậm cho lò phản ứng, nhiên liệu uranium phải được làm giàu từ 0,07% U-235 đến ít nhất 3% U-235. Dự án Manhattan của Mỹ đã

tiên phong cho mục đích đó trong Thế Chiến II, lần đầu tiên được sử dụng để làm giàu U-235 gần tinh khiết cho vũ khí nguyên tử đầu tiên, quả bom phát nổ trên Hiroshima, Nhật Bản vào ngày 6 tháng 8 năm 1945. Sau chiến tranh, khi hải quân phát triển các phản ứng năng lượng đầu tiên cho tàu ngầm hạt nhân, tàu đã sử dụng nhiên liệu uranium làm giàu đến mức U-235 đủ để duy trì một phản ứng dây chuyền với chất làm chậm là nước.

Phòng thí nghiệm tại Đại học Chicago là nơi Fermi chế tạo lò CP-1 trong những năm đầu của Thế Chiến II để phát triển công nghệ sản xuất plutonium. Một nhiên liệu bom thậm chí còn tốt hơn uranium, plutonium được sinh ra trong các lò phản ứng sản xuất lớn làm chậm bằng than chì, làm mát bằng nước, được xây dựng dọc theo sông Columbia ở phía đông bang Washington, được chiết xuất hóa học từ ma trận uranium nhờ đi ôxi khiên từ xa, tinh chế và vận chuyển đến phòng thí nghiệm bom ở Los Alamos, New Mexico, để được đưa vào quả bom thả xuống Nagasaki.



Phản ứng dây chuyền phân hạch uranium được làm chậm: từ trái sang phải, một neutron đi vào nguyên tử của U-235, làm cho nó phân hạch (tách). Điều này giải phóng năng lượng và hai hoặc nhiều neutron thứ cấp, do đó làm chậm lại các nguyên tử carbon trong than chì và sau đó tiếp tục đi vào các nguyên tử U-235 khác trong một chuỗi phản ứng theo thang lũy thừa.

Chicago hoàn thành khâu thử nghiệm vào giữa năm 1944, sau đó, một hội đồng gồm Fermi và các đồng nghiệp của ông đã có thời gian xem xét tương lai của điện hạt nhân để sản xuất năng lượng. Kết quả là một báo cáo 67 trang tuyệt mật mang tên *Prospectus on Nucleonics* (Bản cáo bạch về hạt nhân học). (*Nucleonics* là một thuật ngữ mới mà ủy ban chọn làm tên cho lĩnh vực mới của công nghệ hạt nhân, tương tự với từ *electronics* - điện tử học - liên quan đến điện; hạt nhân liên quan đến lõi hạt nhân.)

Bản cáo bạch này xem xét lịch sử trước và trong thời chiến của ngành hạt nhân học - những khám phá vật lý ban đầu và Dự án Manhattan - rồi chuyển sang phần cuối để đặt câu hỏi về sự phát triển của điện hạt nhân thời hậu chiến. Một vấn đề quan trọng mà nó đặt ra là lượng uranium có thể chiết xuất được trên thế giới. “Ước tính,” *Bản cáo bạch* cho biết, “đó là tổng lượng uranium sẵn có trong quặng cao cấp trên Trái đất vào khoảng 20.000 tấn, trong đó khoảng 10.000 tấn đang nằm ở lục địa châu Mỹ. Khối lượng đó sẽ cho phép năm lò loại lớn hơn... hoạt động liên tục trong 75 năm.”^[2] Phần tiếp theo của cáo bạch chứng minh phỏng đoán đó, lưu ý nó dựa trên giả định rằng plutonium [được sinh ra trong lò phản ứng trong quá trình hoạt động từ U-238 trong uranium tự nhiên] thường xuyên được loại bỏ và sử dụng cho các mục đích khác.

Những “mục đích khác” ở đây chỉ có thể là bom nguyên tử và *Bản cáo bạch* lưu ý rằng khoảng một pound plutonium được sản xuất trong một lò phản ứng được làm chậm bằng than chì thông thường cho mỗi pound U-235 được tiêu thụ. Nếu plutonium được để trong lò phản ứng và cho phép phân hạch, *Bản cáo bạch* tiếp tục - không mấy khả thi khi Mỹ vẫn tiếp tục chế tạo bom nguyên tử, thì việc cung cấp nhiên liệu cho lò phản ứng sẽ kéo dài gấp 140 lần - năm lò phản ứng sẽ tồn tại 10.500 năm, hoặc, nếu plutonium được chiết xuất và sử dụng để cung cấp nhiên liệu cho các lò phản ứng bổ sung thì ta có bội số của năm lò phản ứng trong một khoảng thời gian ngắn hơn.

Mặc dù vậy, khả năng ứng dụng năng lượng hạt nhân trên quy mô lớn vẫn không mấy sáng sủa: chỉ dựa vào dự trữ đã được chứng minh theo *Bản cáo bạch*, “năng lượng có sẵn trong 10.000 tấn uranium sẽ không đủ để cho phép nguyên liệu này thay thế than và các vật liệu dễ cháy khác, hay thủy điện, như một nguồn năng lượng.”^[3] *Bản cáo bạch* ước tính rằng lượng tiêu thụ than của Mỹ lúc đó lên tới khoảng một tỉ tấn mỗi năm. Việc phân

hạch uranium cho năng lượng mạnh hơn than ít nhất gấp một triệu lần, 10.000 tấn uranium - toàn bộ lượng dự trữ của Mỹ được các nhà khoa học biết đến vào năm 1944 - sẽ tương đương với mười tỉ tấn than, nghĩa là, bằng mười năm năng lượng than.

Trước dự đoán ảm đạm đó, *Bản cáo bạch* đánh giá rằng “có khả năng” sẽ có phương pháp chiết xuất uranium từ các quặng cấp thấp hơn. Nó đề cập đến thorium như một nhiên liệu lò phản ứng thay thế với trữ lượng dồi dào hơn nhiều. (Nó chưa được ứng dụng thương mại làm nhiên liệu lò phản ứng.) Báo cáo thậm chí suy đoán về phản ứng tổng hợp nhiệt hạch hạt nhân hydro có kiểm soát để tạo năng lượng như về sau được phát triển, “từ đó cho phép dùng nước trong tất cả các đại dương làm nguồn nhiên liệu hoặc năng lượng.” Nhưng *Bản cáo bạch* đánh giá khả năng đó “với viễn cảnh u ám không kém” (không có nghĩa là tuyệt vời hoặc ngay tương lai gần). (Hơn 80 năm sau, ngành năng lượng hạt nhân vẫn vậy. Phản ứng nhiệt hạch hạt nhân - khai thác sự hợp nhất của các nguyên tố nhẹ chứ không phải sự phân hạch của các nguyên tố nặng - là một vấn đề cực kỳ hóc búa, vì nó tạo ra nhiệt độ hàng triệu độ trong một vật chứa kín. Tính đến năm 2018, không có lò phản ứng nhiệt hạch thử nghiệm nào tiến xa hơn mức hòa vốn - có nghĩa là không sản xuất được nhiều năng lượng vượt xa so với tổng năng lượng dùng để chạy lò phản ứng.)

Bản cáo bạch không được chú thích. Nó không xác minh được nguồn thông tin ước tính thấp và không chính xác về lượng quặng uranium trên Trái đất đó là từ đâu. Ngay cả khi nó đang được viết, Tướng Leslie R. Groves, người đi đầu hành Dự án Manhattan đã chỉ đạo một tổ chức bí mật có mật danh là Dự án Hill Area (tiếp tục dự án Manhattan) để xác định mọi nguồn dự trữ quặng uranium trên thế giới đã thăm dò và mua lại quyền khai thác khoáng sản. Sự đầu tư đó sẽ mở rộng ra đến hơn 50 quốc gia. Bản thân Dự án Manhattan phụ thuộc rất nhiều vào hai nguồn uranium: mỏ Shinkolobwe tại nơi mà lúc đó là Congo thuộc sở hữu của Bỉ ở Trung Phi và mỏ Eldorado trên hồ Great Bear ở tây bắc Canada. Nhưng Groves nhận thức rõ rằng có uranium trên cao nguyên Colorado, một thành phần của quặng vanadium được khai thác ở đó, bởi vì ông đã sử dụng khoảng 29 tấn oxid uranium từ Arizona trong chiến tranh làm một phần nguyên liệu cho quả bom nguyên tử đầu tiên.^[4]

Kể từ khi các nhà khoa học tại phòng thí nghiệm quốc gia của chính phủ Mỹ tại Oak Ridge (Tennessee) và bên ngoài Chicago trong Rừng Quốc gia Argonne tin rằng uranium rất hiếm, họ cho rằng con đường bền vững duy nhất đến năng lượng hạt nhân thương mại là thông qua các lò phản ứng tái sinh. Thiết kế của lò phản ứng tái sinh đầu tiên bao gồm một lò phản ứng năng lượng với một “tấm chắn” bằng đá uranium tự nhiên quấn quanh nó để hấp thụ neutron phân hạch dư thừa để tạo ra plutonium. Plutonium sau đó có thể được tách ra bằng phản ứng hóa học và được sử dụng làm nhiên liệu. Chức năng bổ sung này - sản xuất plutonium cũng như tạo ra năng lượng - khiến việc nghiên cứu, thiết kế và phát triển phức tạp hơn, và nhất thiết phải hoãn lại thời điểm năng lượng hạt nhân có thể sẵn sàng cho sản xuất diện thương mại. Như một giám đốc của Cơ quan Khảo sát Địa chất Mỹ giải thích, việc phát triển lò phản ứng hạt nhân sẽ cần “một chương trình nghiên cứu và phát triển có nguồn vốn đầu tư công khổng lồ mà sẽ chẳng khôn ngoan nếu bỏ ra khi chưa thực sự cần thiết.”^[5] Sau khi chiến tranh kết thúc, vào cuối những năm 1940, Oak Ridge và Argonne tập trung vào nghiên cứu cơ bản trong công nghệ hạt nhân thay vì phát triển lò phản ứng.

Tuy nhiên, khi Liên Xô thử nghiệm quả bom nguyên tử đầu tiên vào tháng 8 năm 1949, ủy ban Năng lượng Nguyên tử (AEC) ba năm tuổi của Mỹ đã phản ứng bằng sự hoảng loạn. Bên cạnh việc theo đuổi một chương trình nhiều sai lầm để chế tạo bom hydro (mà chưa ai biết cách làm, hoặc thậm chí liệu nó có khả thi thật hay không), AEC cam kết xác định và phát triển nguồn uranium nội địa trong trường hợp nguồn cung nước ngoài bằng cách nào đó bị cắt đứt.

Vì vậy vào tháng 3 năm 1951, AEC đã tăng gấp đôi giá đấu thầu trước đây đối với quặng uranium cao cấp và hứa thưởng thêm 10.000 đô-la (100.000 đô-la ngày nay) nếu người thăm dò xác định được một mỏ mới có trữ lượng lớn. Uranium trong khoáng chất carnotite màu vàng hoặc uraninite màu xám đen có xu hướng xuất hiện dưới dạng thấu kính trong lòng suối hàng trăm triệu năm tuổi vì nó dễ dàng hòa tan trong nước sunfat. Uranium lượng nhỏ thường gắn hoặc bám vào thân cây gỗ hóa thạch. Một nhà thăm dò mà nhà báo Tom Zoellner đã phỏng vấn về cơn sốt uranium của thập niên 1950 mà AEC đã thúc đẩy nói với anh ta rằng, “Tôi từng gặp một người tuyên bố tìm thấy nguyên cả một cây toàn uranium cao cấp. Nó

rã ra thành bột đen, rất mềm, như hạt tiêu. Đó là một cây [hóa thạch] khoảng hai feet dày, với các cành dài đến mười feet mỗi hướng. Anh ta lôi thứ đó ra và nhận được 6.500 đô-la. Khi cây đã cạn kiệt, đó là dấu chấm hết cho quặng uranium của gã. Không còn nữa.”^[6]

EARN A \$10,000 REWARD!



Famous Super Sniffer for URANIUM PROSPECTING

Compact 2 lb. Geiger counter. Uses only 2 flashlight batteries. Highly sensitive to both betas and gammas. Signals with flashing light and headphone clicks. Guaranteed, foolproof circuit. Complete with radium source, headphones, batteries, book “Prospecting for Uranium.”

DEALERS INVITED

\$54⁵⁰ post paid. (no c.o.d.)

NUCLEAR CORP., 253 W. Erie St., Chicago 10

Việc khai thác uranium vào những năm 1950 trên cao nguyên Colorado đã khiến cho máy đo phóng xạ Geiger trở thành một công cụ quen thuộc, Ủy ban Năng lượng Nguyên tử Mỹ là bên trao phần thưởng.

Các nhà thăm dò, khoảng 2.000 người tất cả, đã từ tứ phương đổ đến sau lời hiệu triệu lôi cuốn của AEC. Các tờ tạp chí như *Life*, *Popular Mechanics*, *National Geographic* đều đăng về cơn sốt uranium trên trang bìa của họ. Máy đo phóng xạ Geiger bị săn lùng. Một vài thợ mỏ trở nên giàu có. Số còn lại kiếm được một chút hoặc không được gì.

Vào giữa những năm 1950, AEC có đủ lượng quặng uranium cần thiết để chế tạo bom, từ Nam Phi và miền Tây nước Mỹ. Thêm quặng xem ra chỉ là vấn đề về giá cả. “Hàng chục triệu tấn mẫu vật xuất hiện chờ giám định trong khoảng giá từ 30 đô-la đến 100 đô-la một pound, một nhà địa chất làm việc tại Cơ quan Khảo sát Địa chất Mỹ viết năm 1972.”^[7] AEC

tiếp tục trả công hậu hĩnh cho các nhà thăm dò trong mười năm nữa để tích lũy dự trữ cho sự phát triển được dự đoán của năng lượng hạt nhân thương mại.

Một nguồn uranium chưa được khai thác là than. Than non hay “than nâu” chứa khoảng 60% đến 70% carbon, có ái lực hóa học đối với uranium, một thực tế lần đầu tiên được ghi nhận bởi kỹ sư khai thác người Mỹ gốc Thụy Sĩ Edward L. Berthoud vào năm 1875.^[8] “Than bùn, than non và than á bitum,” hai nhà khoa học đánh giá năm 1954, “có thể chiết xuất hơn 98% uranium trong một dung dịch lỏng uranium sulfate.” Đó là lý do tại sao cây cỏ thụ mục nát trong lòng suối tích lũy uranium.^[9] Có nhiều than bùn chứa uranium ở Dakotas mặc dù hàm lượng uranium là loại thấp. Người ta đã cố gắng tinh chế nó để đốt than non trong các nhà máy điện than để tạo ra điện rồi trích xuất uranium từ tro bay, nơi nó tập trung. Năm 2007, Trung Quốc bắt đầu khai thác như vậy trên quy mô 5,3 triệu tấn tro bay từ than non tại Xiaolongtang ở tỉnh Vân Nam. Tro Trung Quốc có hàm lượng trung bình khoảng 180 gram U_3O_8 mỗi tấn. Trung Âu và Nam Phi cũng tiến hành khai thác uranium từ tro bay.^[10] Với hàm lượng phổ biến của uranium và thorium, than giải phóng nhiều phân rã phóng xạ vào môi trường khi nó bị đốt cháy hơn bất kỳ nhiên liệu nào khác.

Sĩ quan kỹ thuật của Hải quân Mỹ là Hyman Rickover không ngừng theo đuổi phát triển máy phát điện cho tàu ngầm đã mở đường cho sự phát triển của năng lượng hạt nhân. Rickover là một người nhập cư Do Thái thế hệ đầu tiên, nhỏ bé, nhanh nhẹn, thông minh xuất thân từ Trại tập trung Pale của Nga. Ông đào thoát khỏi cuộc tàn sát người Do Thái của Sa hoàng với cha mẹ vào năm 1908 khi mới tám tuổi. Cha ông là thợ may, quyết định cho gia đình định cư ở Chicago nơi Rickover lớn lên. Làm nhân viên điện báo của Western Union đã kết nối ông với Nghị sĩ Adolph Sabath, một đồng bào nhập cư người Do Thái, người đã gửi gắm ông vào Học viện Hải quân Mỹ khi ông mười tám tuổi. Rickover tốt nghiệp vào năm 1922, nhận nhiệm vụ trên một tàu khu trục mới, và trong vòng một năm đã được bổ nhiệm làm sĩ quan kỹ thuật trẻ nhất trong đội.

Sau năm năm làm nhiệm vụ trên biển, Rickover đủ điều kiện để học tiếp. Ông tận dụng cơ hội để lấy bằng thạc sĩ về kỹ thuật điện tại Trường Đào tạo Sau đại học Hải quân và học tại Đại học Columbia, sau khi tìm hiểu và cho rằng gia nhập tàu ngầm hải quân có thể cung cấp lộ trình nhanh

chóng nhất để thắng tiến. Hóa ra là không phải. Một người nghiện công việc mãnh liệt với giọng Chicago cao, vẻ ngoài và ứng xử của Rickover không giống như một sĩ quan hải quân kinh điển, di sản Do Thái cũng không cải thiện vị thế của ông trong một nhánh quân đội có thái độ thù địch với người Do Thái thời đó. (Nhiều năm sau, khi chọn các sĩ quan cho hạm đội tàu ngầm hạt nhân mở rộng của mình, ông đã cố tình chọn những người đàn ông cao lớn, thô kệch, trông giống người Bắc Âu cho vị trí chỉ huy tiềm năng, với điều kiện họ đủ thông minh và tham vọng.^[11]) Dù sao ông cũng vẫn thắng tiến, phục vụ ba năm làm sĩ quan kỹ thuật trên một chiếc tàu ngầm lỗi thời, USS *S-48*, học tập đủ để thiết kế lại và xây dựng lại động cơ đẩy chạy điện mạnh mẽ của nó.

Trong suốt phần còn lại của những năm 1930 và những năm của Thế Chiến II, Rickover làm nhiệm vụ kỹ thuật trên tàu và trong xưởng đóng tàu. Chiếc tàu mà ông chỉ huy, có lẽ là một trò đùa tàn nhẫn, là thứ mà một trong những cấp dưới của ông, Theodore Rockwell, gọi là “một thứ gì sắt tũn tũn, một tàu quét mìn già nua, chiếc *Finch*.”^[12] Với sự sôi nổi quen thuộc, Rickover chỉ huy đội ngũ của mình làm mới chiếc *Finch* từ đáy tàu đến khoang lái. Từ chiếc *Finch*, vào năm 1937, ông đã nộp đơn ứng cử vị trí sĩ quan kỹ thuật (EDO)⁽³⁸⁾ và đã giành được nó, giữ vị trí chỉ huy bộ phận điện của Cục Tàu thủy trong thời chiến. Ông giám sát sự phát triển của một hệ thống thông tin liên lạc hàng ngoại để liên lạc với tàu trên biển vào ban đêm, thay thế tín hiệu ánh sáng có thể nhìn thấy khiến tàu Mỹ bị dính bom và ngư lôi của đối phương. Cuối chiến tranh, ông tái cơ cấu lại kho quân nhu khổng lồ của hải quân tại Mechanicsburg, Pennsylvania, giúp giảm thời gian tiếp tế phụ tùng từ vài tháng xuống còn vài ngày.

Rickover là một trong năm sĩ quan hải quân được phân công tới Oak Ridge vào năm 1946 để nghiên cứu năng lượng nguyên tử và hạt nhân. Vì ông hơn hăm bốn người còn lại nên ông nắm quyền chỉ huy và chỉ đạo nghiên cứu độc lập và nghiên cứu tập thể của họ. Các nhà khoa học hải quân đã nghiên cứu động cơ đẩy hạt nhân đẩy cho tàu trong chiến tranh nhưng công nghệ đó chưa được tập trung chú ý. Bản thân dự án Manhattan là dự án của quân đội, giới quan chức hải quân quan tâm nhiều hơn tới sự thống trị của quân đội thông qua vũ khí nguyên tử mới thay vì năng lượng hạt nhân.

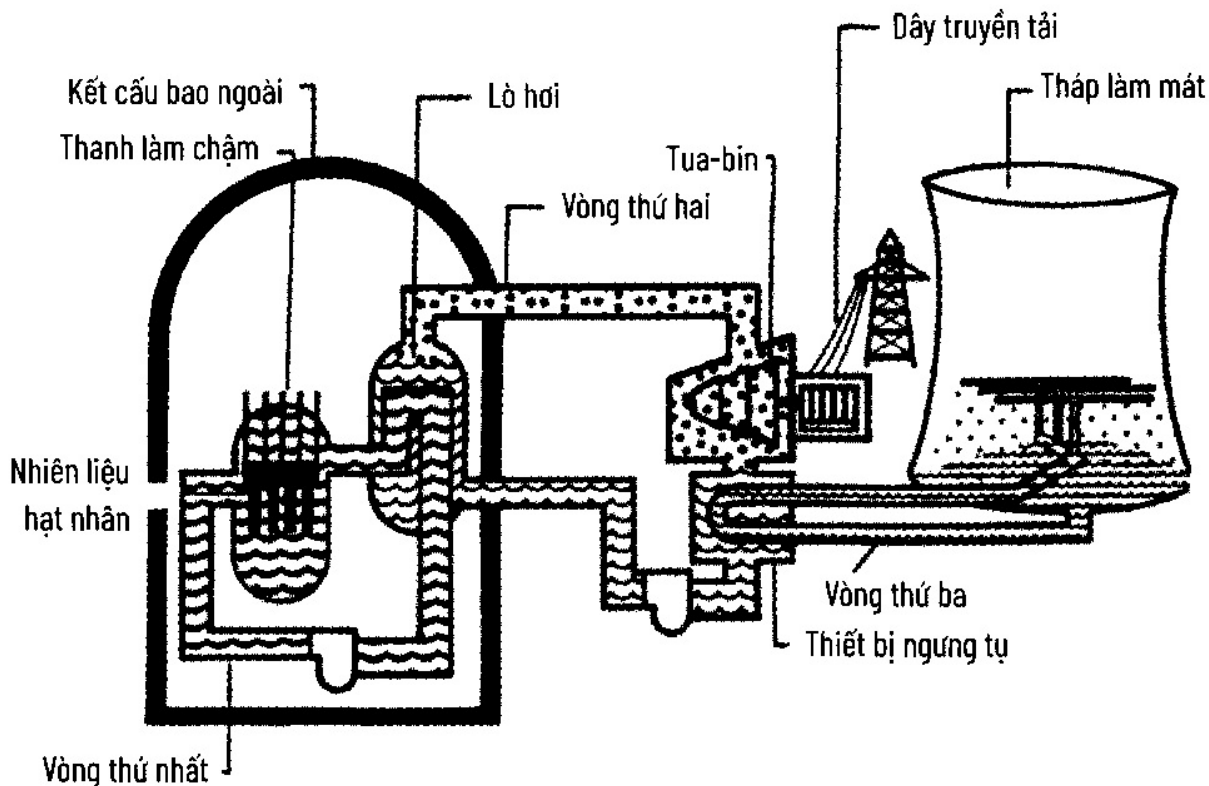
Rickover, sau khi nghiên cứu đề tài này, đã kết luận rằng nên tăng chiến đấu hải quân tối thượng sẽ là một tàu ngầm chạy bằng năng lượng hạt nhân, lò hơi của nó sẽ là lò phản ứng hạt nhân không cần oxy, có khả năng lặn dưới nước trong nhiều tuần liền, yên ắng và vô cùng chết chóc. Như vũ khí nguyên tử cuối cùng đã trao cho Không quân Mỹ những quả bom cần thiết để biến tham vọng chiến thắng chiến tranh bằng không quân, sẽ có nhu cầu tương tự với ngư lôi nguyên tử - và hơn thế nữa, tên lửa hạt nhân - thứ đem đến cho hải quân sức mạnh rắn đe hạt nhân.

Hải quân chưa ý thức được điều đó nhưng Rickover thì có. Trong ba năm tiếp theo, củng cố lại sự chống đối to lớn từ chính hải quân, ông đã áp dụng cái ông gọi là “cách tiếp cận kiểu nha khoa” - áp lực âm thầm, không ngừng nghỉ để di chuyển răng trong miệng - để làm lung lay sự thờ ơ ngoan cố của hải quân với tàu ngầm hạt nhân. “Tuy nhiên, nhiều quan chức cấp cao,” một thành viên sau đó của nhóm Rickover ghi chép, “coi ý tưởng của Rickover như tìm cách đi lên Mặt trăng vậy.”^[13] Một chiến lược quan trọng là để ông hẹn gặp cả Ủy ban Năng lượng nguyên tử lẫn hải quân, cho phép ông cùng lúc chống lại các quan chức phản đối đến từ hai phía. Rockwell nhắc lại lời ông, “Nếu hải quân không thích những gì chúng tôi làm thì chúng tôi sẽ hợp tác với AEC.”^[14] Đảng nào ông cũng cần có thẩm quyền của AEC, vì chỉ có hội đồng này được ủy quyền ký hợp đồng liên quan đến vật liệu nguyên tử và bí mật nguyên tử.

Nhân tiện, Rickover đã đưa ra quyết định lịch sử là làm chậm các lò phản ứng ở tàu ngầm và tàu biển lớn của mình bằng nước thay cho natri lỏng ít biết đến hơn nhưng là chất làm chậm hiệu quả hơn. Natri, ông lập luận, có những khuyết điểm cũng như ưu điểm của nó. Nó đòi hỏi che chắn cẩn thận vì nó phát ra tia gamma năng lượng cao nguy hiểm khi tiếp xúc với bức xạ. Gây khó khăn cho bảo dưỡng, nó cháy trong không khí, nổ tung trong nước và cần một tuần sau khi tiếp xúc trong một lò phản ứng để tỏa ra hết bức xạ rồi mới có thể tiếp cận để bảo trì. Quan trọng là nước thông thường là một phương tiện quen thuộc với kỹ sư hải quân, được sử dụng lâu dài trong nồi hơi và để truyền nhiệt. Rickover đã có đủ rắc rối khi xây dựng lò phản ứng đầu tiên và đã xoay xở để lắp nó vào thân tàu ngầm mà không tiên phong dùng những chất làm chậm lạ. Song lựa chọn công nghệ này đã thành công qua năm tháng. Các quốc gia khác đã đưa ra các

lựa chọn khác: nước nặng, heli, natri, chì, hoặc như tại Chernobyl là than chì với nước làm mát.

Đạo luật Năng lượng Nguyên tử năm 1946 đã khiến cho năng lượng nguyên tử và tất cả các dạng thức của nó do chính phủ Mỹ nắm độc quyền. Tất cả những khám phá liên quan đến năng lượng nguyên tử là bí mật “bẩm sinh” - được coi là bí mật cho đến khi được giải mật - và hình phạt cho việc tiết lộ bí mật nguyên tử là tù chung thân hoặc tử hình.



Một nhà máy điện hạt nhân nước áp lực. Nước mang nhiệt lò phản ứng đến một bộ trao đổi nhiệt để cô lập phóng xạ trong bình áp lực lò phản ứng. Từ vòng lặp thứ cấp trở ra, nó hoạt động giống hệt như một nhà máy điện thông thường. Tua-bin hơi dẫn động máy phát để tạo ra điện.

Tất cả các vật liệu phân hạch trở thành tài sản của chính phủ Mỹ, giống như xác cá voi bị mắc cạn đã trở thành tài sản của các vị vua thời xưa. Không ai có thể xây dựng hoặc vận hành lò phản ứng trừ phi được chính phủ cấp phép, cũng như không được quyền sở hữu cá nhân. Quyền với năng lượng nguyên tử được trao cho một ủy ban dân sự, Ủy ban Năng lượng Nguyên tử, chịu trách nhiệm trước Tổng thống Mỹ - “ủy ban chính phủ toàn trị nhất trong lịch sử nước Mỹ,” một sử gia nhận xét.^[15]

Những người đề xuất dự luật tiền thân của Đạo luật Năng lượng Nguyên tử đã lập luận rằng năng lượng nguyên tử quá quan trọng để cho quân đội độc chiếm. Rõ ràng nó cũng quá nhạy cảm để được sở hữu rộng rãi. Ít người bên ngoài Dự án Manhattan và thậm chí ít cá nhân hơn trong Quốc hội biết nhiều về năng lượng nguyên tử. Hầu hết mọi người đều tin rằng bom nguyên tử là phát minh mới chứ không phải là ứng dụng của vật lý hạt nhân và ngành kỹ thuật chất nổ. Hãy giữ “những bí quyết” của bản thiết kế, để Mỹ có thể duy trì thế độc quyền trong nhiều năm hay có lẽ trong nhiều thập niên tới.

Cuộc thử nghiệm bom nguyên tử của Liên Xô vào tháng 8 năm 1949 đã phá tan ảo tưởng của giới lãnh đạo Mỹ. AEC đã trả lời phép thử của Liên Xô bằng cách mở rộng việc sản xuất bom nguyên tử vượt xa con số 170 bom nguyên tử dự trữ vào năm 1949. Khi Dwight Eisenhower nhậm chức tổng thống vào tháng 1 năm 1953, chưa đầy ba tháng sau khi Mỹ thử nghiệm bom hydro đầu tiên, ông đã thừa hưởng một kho vũ khí hạt nhân chứa 841 quả bom nguyên tử.^[16] Một người tin tưởng vào cân bằng ngân sách, Eisenhower quyết tâm cắt giảm chi tiêu của chính phủ. Vị cựu tướng quân làm như vậy bằng cách cắt giảm ngân sách cho quân đội chính quy và tăng cường dự trữ vũ khí hạt nhân của Mỹ, một chính sách mà Ngoại trưởng John Foster Dulles mô tả như là “động thái rắn đe từ sức mạnh trả đũa ồ ạt”: ăn miếng trả miếng hàng loạt.^[17] Trong một báo cáo bí mật của Hội đồng An ninh Quốc gia Mỹ tháng 10 năm 1953, NSC 162/2, Eisenhower đã xác nhận chính sách này bằng tuyên bố đơn giản đến nghiệt thử: “Trong trường hợp xảy ra chiến sự, Mỹ sẽ coi vũ khí hạt nhân là vũ khí quân dụng có thể sử dụng như các loại đạn dược khác.”^[18]

Chiến tranh Lạnh mà Eisenhower kế thừa là một phần của cuộc cạnh tranh với Liên Xô và các quốc gia khác trên thế giới. Một sự gia tăng lớn về số lượng vũ khí hạt nhân của Mỹ cộng với lời đe dọa của Eisenhower sẽ không ngần ngại sử dụng chúng để leo thang xung đột vũ trang và một chính sách mới để chia sẻ vũ khí hạt nhân với các quốc gia đồng minh châu Âu trong NATO, có thể khiến nước Mỹ có hình ảnh hiếu chiến trước thế giới. Để chống lại ấn tượng đó, Tổng thống Mỹ đã công bố một chương trình mới mà ông gọi là Nguyên tử vì Hòa bình. Ông đã đề xuất nó trong bài phát biểu trước Đại Hội Đồng Liên Hợp Quốc vào ngày 8 tháng 12 năm 1953, đề nghị đóng góp “uranium bình thường và vật liệu có thể

phân hạch” cho một cơ quan năng lượng nguyên tử quốc tế và mời những các quốc gia khác - nghĩa là Liên Xô - cùng hưởng ứng nỗ lực của Mỹ. Trách nhiệm quan trọng nhất của cơ quan mới, theo ông, sẽ là nghĩ ra các phương pháp ứng dụng năng lượng nguyên tử “đáp ứng các nhu cầu nông nghiệp [và] dược phẩm.” Một “mục đích đặc biệt” sẽ là “cung cấp năng lượng điện dồi dào cho các khu vực thiếu điện trên thế giới.”^[19] (“Các chuyên gia kỹ thuật của chúng tôi đảm bảo với tôi rằng,” Eisenhower vốn là người chơi poker giỏi, tiết lộ trong hồi ký của mình, “ngay cả khi Nga đồng ý hợp tác theo kế hoạch đó chỉ trên danh nghĩa thì Mỹ vẫn có thể thoải mái cất giấu kho dự trữ hạt nhân gấp hai đến ba lần lượng hạt nhân mà Nga giao nộp mà vẫn nâng cao được vị thế của Mỹ.” Mỹ cuối cùng đã đóng góp hơn 40 tấn nguyên liệu Uranium cho kho dự trữ hòa bình, phần lớn được phân phát cho các trường đại học trên khắp thế giới dưới dạng các lò phản ứng nhỏ, an toàn để nghiên cứu.^[20])

Đệ nhất Phu nhân Mamie Eisenhower là người khánh thành tàu ngầm hạt nhân đầu tiên của hải quân Mỹ, chiếc USS *Nautilus*, vào ngày 21 tháng 1 năm 1954. Một tháng sau, Eisenhower gửi một thông

Năng lượng: Lịch sử nhân loại từ than củi tới hạt nhân 377 điệp tới Quốc hội đề xuất sửa đổi Đạo luật Năng lượng Nguyên tử năm 1946 để giải phóng vật liệu và công nghệ hạt nhân cho phát triển dân sự - và nhân đây cho phép ông biến NATO thành một liên minh phòng thủ hạt nhân.^[21]

Đến lúc đó, ngành công nghiệp hạ tầng kỹ thuật bắt đầu lo lắng về sự cạnh tranh thương mại cho điện hạt nhân. Điện hạt nhân chưa kinh tế ở Mỹ nhưng đã cạnh tranh với các nguồn điện phi hạt nhân ở Tây Âu và Nhật Bản, các khu vực có ít tài nguyên nhiên liệu hóa thạch bản địa. Canada bắt đầu xây dựng một lò phản ứng áp lực nước nặng được cung cấp nhiên liệu uranium tự nhiên với công suất thiết kế 200 megawatt, một cơ cấu tốt hơn cho các quốc gia không có khả năng làm giàu uranium. Một thị trường nước ngoài béo bở đã mở cửa. “Nếu chúng ta thua kém Nga trong cuộc đua này,” Thượng nghị sĩ có ảnh hưởng John O. Pastore của Rhode Island lo lắng, thì sẽ là thảm họa. Nếu chúng ta thua kém Vương quốc Anh hoặc Pháp, sẽ có một thảm kịch kinh tế to lớn đối với thương mại của Mỹ.^[22] Các công ty như Westinghouse và General Electric rất muốn cạnh tranh, nhưng họ bị cấm tham gia bởi các điều khoản của Đạo luật Năng lượng Nguyên tử.

Liên Xô khiến thế giới rung động vào ngày 26 tháng 6 năm 1954 với tuyên bố rằng họ đã bắt đầu tạo ra lưới điện kết nối với một lò phản ứng, nguồn điện hạt nhân đầu tiên trên thế giới. Lò phản ứng 5 megawatt của Liên Xô đang hoạt động tại Viện thí nghiệm V của Trung tâm hạt nhân ở Obninsk, khoảng gần 100 km về phía tây nam Moscow. (Nó được làm chậm bằng than chì và làm mát bằng nước, một thiết kế với điểm yếu thiết kế vốn có mà các nhà khoa học Liên Xô đã nhận thức được: vì nước hấp thụ neutron, một diễn biến làm hao hụt chất làm mát - nước hút ra từ các kênh nhiên liệu hoặc đun sôi - sẽ làm tăng tốc độ phản ứng. “Trong trường hợp 5 lít nước xâm nhập vào than chì,” một trong số họ đã viết sau đó, “và sự phân bố đồng nhất của nó trong lõi, và phản ứng vượt giới hạn sẽ xảy ra.”^[23] Các nhà khoa học Liên Xô nghiên cứu và kết luận rằng nước sẽ không phân tán qua lõi nếu có kênh nhiên liệu bị rò rỉ. Hệ thống nước-than chì tiếp tục được ưu tiên cho các lò phản ứng của Liên Xô vì nó có tác dụng kép, có khả năng tạo ra plutonium cho vũ khí trong khi sản sinh ra năng lượng. Các lò phản ứng tại Chernobyl sẽ dùng hệ thống nước-than chì.)

Dấu đá nội bộ nặng nề trong Quốc hội xoay quanh việc nhà máy điện hạt nhân thương mại đầu tiên của Mỹ sẽ được xây dựng bởi chính phủ hay doanh nghiệp tư nhân gây khó khăn cho việc luật hóa các đề xuất của Eisenhower. AEC đã bắt đầu ngay với sự chuẩn bị trước dựa vào chuyên môn của Rickover. Năm 1950, người đứng đầu các hoạt động hải quân này đề xuất phát triển một lò phản ứng cho tàu lớn để cung cấp năng lượng cho hàng không mẫu hạm, trở thành một dự án lúc mở lúc đóng trong ba năm trời. Đến tháng 7 năm 1953, AEC giao dự án lò phản ứng dân sự cho Rickover và nhóm của ông.^[24] Các kế hoạch lò phản ứng cho tàu lớn sẽ là sự khởi đầu cho thiết kế dân sự của Rickover.

Đồng thời, Rickover đưa ra một quyết định quan trọng là thay đổi hình thức nhiên liệu từ kim loại uranium sang uranium dioxit, một loại gốm. “Đây là một thiết kế hoàn toàn khác biệt so với các lò phản ứng của hải quân,” Theodore Rockwell viết, “và yêu cầu phát triển một công nghệ hoàn toàn mới từ đầu.”^[25] Rockwell nói với tôi rằng Rickover đã đưa ra quyết định, mặc cho thực tế rằng nó làm phức tạp công việc của họ, để giảm nguy cơ phổ biến hạt nhân: đơn giản là biến thanh kim loại uranium được làm giàu cao thành một quả bom, trong khi uranium dioxit, có nhiệt độ nóng

chảy 5.189°F (2.865°C) đòi hỏi kỹ thuật xử lý khó khăn để chuyển đổi nó thành kim loại.

Đến tháng 10 năm 1953, AEC đã sẵn sàng công bố khai thác nhà máy điện thí điểm 60 megawatt thuộc sở hữu của AEC. Nó được xây dựng trên sông Ohio tại Shippingport, Pennsylvania, về phía tây 60 km ở phía bắc của Pittsburgh, gần công ty Westinghouse và Công ty Chiếu sáng Duquesne. Nhóm lò phản ứng hải quân của Rickover sẽ chỉ đạo việc xây dựng, Rickover đã đứng dưới trướng AEC.

Philip A. Fleger, chủ tịch hội đồng quản trị của Duquesne, nói rằng lý do cơ bản khiến công ty của ông chuyển đổi sang năng lượng hạt nhân là để “kiểm soát ô nhiễm.”^[26] Nhà máy điện hạt nhân thương mại đầu tiên của Mỹ trên thực tế được chào đón hoan nghênh với tư cách là công nghệ “xanh.” Pittsburgh bị ô nhiễm nặng nay bắt đầu tái phát triển đô thị cuối những năm 1940 và kiểm soát khói nghiêm ngặt. Vào thời điểm AEC mời thầu công nghiệp tư nhân cho dự án Shippingport, sắc lệnh kiểm soát oxid lưu huỳnh cũng đang chờ được thông qua tại Pittsburgh. Duquesne kiến nghị xây dựng một nhà máy nhiệt điện than trên sông Allegheny nhưng cư dân trong khu vực đã phản đối quyết liệt. “Chúng tôi vấp phải rất nhiều sự quấy rối và trì hoãn từ những người phản đối,” Fleger kể lại. “Có lẽ chúng tôi không thể hoàn thành nhà máy đúng lúc để đáp ứng nhu cầu năng lượng mà chúng ta đang phải đối mặt.” Dự án lò phản ứng nước áp lực của AEC như một phép màu: không có thiết bị lọc bụi đất tiến để kiểm soát khói, không có máy lọc đất tiến để kiểm soát oxid lưu huỳnh, 60 megawatt công suất tải cực đại và sự ủng hộ dành cho công nghệ điện hạt nhân.

Triển vọng kinh tế của dự án cũng có vẻ đầy hứa hẹn. “Tôi nhận thấy đến giai đoạn này sẽ rất khó để bất kỳ công ty nào có thể dự đoán được chi phí cuối cùng của dự án,” Fleger nhớ lại. “Tuy nhiên, ở đây chúng ta có thể thương lượng một hợp đồng và yên tâm rằng có mức trần về chi phí.”

Duquesne đã sở hữu 271 mẫu đất bằng phẳng bên cạnh sông Ohio tại làng Shippingport, gần ranh giới Pennsylvania-Ohio. Công ty này đã mua thêm 237 mẫu, tạo thành một diện tích tương đối biệt lập.

Nó có đủ yếu tố xây dựng các cấu trúc cần thiết cho một nhà máy điện hạt nhân, để lắp đặt tua-bin 100 megawatt sản xuất điện từ hơi nước nóng lò phản ứng, và đáp ứng được lượng điện cần cho nhân công và dịch vụ trị giá 5 triệu đô-la tính vào kinh phí chạy lò phản ứng. Con số 5 triệu đô-la

chi phí gần tương đương với chi phí nhà máy nhiệt điện mà Duquesne sẽ phải mua nếu hệ thống điện là thông thường thay vì điện hạt nhân.

AEC thích hồ sơ thầu của Duquesne. Họ thích vị trí mà Duquesne chọn, cùng thành phố có cơ sở Westinghouse, nơi lò phản ứng sẽ được thiết kế và xây dựng. AEC nhận được mười hồ sơ dự thầu. Trong số đó Duquesne là đơn vị tốt nhất và AEC đã chấp nhận đi đầu đó.

Vẫn đang nằm trên giường bệnh hồi phục sau cơn đau tim, Eisenhower vẫy một cây đuă thần - hay ngu ồn neutron - qua một máy phát ở Denver và kích hoạt một máy ủi tự động ở Shippingport để xúc mẽ đất đầu tiên cho nhà máy điện mới vào lễ Lao động, ngày 6 tháng 9 năm 1954. Việc đào móng và xây dựng vào gu ồn trong mùa xuân năm ấy. Công việc tiến triển thuận lợi. “Chúng tôi có thể thực hiện công việc của mình mà không phải chờ thư và không ồn ào,” Rickover phản hồi với Quốc hội. “Chưa bao giờ cần một lá thư giữa Ủy ban và Công ty Chiếu sáng Duquesne kể từ khi hợp đ ồng được ký kết với họ. Chưa bao giờ cần như vậy.”

Vốn là một giám đốc sát sao, Rickover sẽ đến địa điểm từ Washington vào buổi tối hoặc muộn hơn vào chiều thứ Sáu, khiến cho những người quản lý của ông lo lắng vào ban đêm và cuối tuần. “Có một phương châm ở đây,” chủ tịch của Duquesne là Stanley Schaffer nhớ lại, “mà một số người thực thi trong chúng tôi rất ghét: phương châm của đô đốc, ‘Hết công suất vào năm 1957.’” Không phải ai cũng quý đô đốc nhưng ông đã hoàn thành công việc.

Bể chứa chịu áp lực giữ lò phản ứng nóng, lõi phóng xạ, dài 10 mét và có đường kính 2,7 mét với những bức tường dày 15 cm, cần đến hai năm rưỡi để chế tạo. Westinghouse, Duquesne, hải quân, AEC và tất cả các nhà thầu của họ đã phải phối hợp cùng nhau trong và ngoài khu công trường. Nhiên liệu oxid uranium trong lần sử dụng đầu tiên phải được chế tạo và bọc bằng zirconium. Nhóm Rickover đã kích thích sự thành lập một ngành công nghiệp mới để mang thứ kim loại kỳ lạ đó cho nhu cầu của ngành công nghiệp hạt nhân mới. Một sản phẩm thứ cấp của sản xuất zirconium là hafnium hấp thụ neutron tuyệt vời, nguyên tố 72, sẽ dùng cho các thanh điều khiển của lò phản ứng Shippingport.

Tiếp theo là một thợ hàn lùn. “Trong khi xây dựng một nhà máy nguyên tử, người ta tốn rất nhiều thời gian chỉ để tìm kiếm các mối nối yếu và hở,” quản lý dự án Westinghouse cho Shippingport nói với một nhà báo.

“Một ngày nọ, chụp X-quang cho thấy một khiếm khuyết bên trong góc cong của ống dẫn 38 cm. Đó là một vị trí khó tiếp cận. Chúng tôi bàn thảo dỡ đường ống nhưng như thế sẽ tốn kém thời gian và tiền bạc. Sau đó, chúng tôi được biết về một công ty ở Georgia cho thuê thợ hàn lùn bẩm sinh cho đúng những công việc như vậy. Họ đã gửi cho chúng tôi một người chỉ cao một mét, anh ta đã bò vào đường ống và sửa chữa lại cho chắc.”

Nhà máy cần phải vững chắc. Áp lực nước lên đến gần 14.000 kPa sẽ được bơm qua lõi lò phản ứng với tốc độ 45.000 gallon mỗi phút. Phần lõi là một hỗn hợp: 115 pound kim loại U-235 dùng để chế tạo bom như “hạt giống” trong các tấm ở trung tâm (trị giá 1 triệu đô-la U-235 với 8.700 đô-la mỗi pound) và 12 tấn oxid uranium tự nhiên trong các thanh được phủ kín xung quanh.

Rickover có vẻ cáu kỉnh vào giai đoạn cuối, đầu năm 1957, khi ủy ban của Quốc hội giám sát dự án đến Pittsburgh để xem xét. “Tôi nghĩ rằng chúng ta đã nuông chiều quá nhiều người ở đất nước này trong quá lâu với sự quỵn rũ của năng lượng nguyên tử,” ông trả lời các nghị sĩ, “và tôi nghĩ càng sớm càng tốt, chúng ta phải coi nó như bất kỳ ngành nào khác.” Ai đó đã phạm sai lầm khi hỏi ông về các lò phản ứng mới, lớn hơn so với thiết kế. Chúng được cho là hiệu quả hơn.

Rickover cười khẩy. “Bất kỳ nhà máy nào bạn chưa xây dựng sẽ luôn hiệu quả hơn cái bạn đã xây. Điều này là hiển nhiên. Tất cả đều hiệu quả khi bạn chưa vận hành chúng, trong giai đoạn nói mồm. Nói chuyện chơi thì tất cả chúng đều hiệu quả, đều rẻ, đều dễ xây dựng và không có vấn đề gì.”

Ông cũng thẳng thắn về khó khăn của Shippingport. Chi phí đã đội lên ít nhất 50%. Mọi người, Rickover nói, đã có ý tưởng rằng các lò phản ứng là “công nghệ cao cấp hơn khả năng của họ rất nhiều.” Đội ngũ thiết kế và xây dựng của họ thiếu nhiều công nghệ cơ bản cần thiết. “Cuộc chơi lò phản ứng” này đang ở thế “chỉ mảnh treo chuông hơn hầu hết nhận thức của mọi người. Có rất nhiều thứ có thể đi sai, và nó đòi hỏi sự cảnh giác không ngừng. Chỉ cần một diễn biến bất ngờ ở Mỹ, và nó có thể khiến toàn bộ cuộc chơi này chậm lại một thế hệ.”

Shippingport đã hoàn thành đúng hạn theo bất kỳ tiêu chuẩn nào không ngặt nghèo như của Rickover. “Hơn hai năm rưỡi một chút,” chủ tịch của

Duquesne hồi tưởng, “so với ngày nay, có thể là 12 đến 14 năm kể từ thời điểm khởi công nhà máy. Tôi nghĩ rằng dự án đã hoàn thành rất nhanh chóng.”

15 năm từ ngày Enrico Fermi lần đầu vận hành Lò Chicago của mình, vào ngày 2 tháng 12 năm 1957, Shippingport trở nên nguội lạnh dưới mức tới hạn, nghĩa là các kỹ sư chạy thử lò phản ứng nhưng không cho sản xuất điện. Họ đóng mạch điện vào ngày 18 tháng 12 lúc 12 giờ 39 phút sáng. Đến 3 giờ sáng hôm sau, nhà máy đã sản xuất nhiều điện hơn mức 8 megawatt nó tiêu thụ. Đến 7 giờ sáng, nó đã tạo ra 12 megawatt. Nó sẽ tạo ra 20 megawatt vào tối hôm đó và 60 megawatt trong vòng vài ngày. Ngân sách ở mức 47,7 triệu đô-la, nó có giá 84 triệu đô-la. 36 triệu đô-la còn lại đi vào nghiên cứu và phát triển lò phản ứng. Điện năng của Shippingport có giá 5,5 đến 6 xu mỗi kilowatt giờ, mặc dù AEC đã bán điện cho Duquesne với giá 0,8 xu - một con số tương đương phí Duquesne sẽ phải trả cho nhiên liệu thông thường.

Đảng Dân chủ tại Quốc hội, tờ *New York Times* đưa tin, “đã thúc giục một chương trình của chính phủ để xây dựng các nhà máy nguyên tử,” nên thông báo của AEC về Shippingport nhấn mạnh nó sẽ cung cấp năng lượng trong nước. Nó bỏ lỡ cơ hội ghi được một “chiến thắng tâm lý” để làm lu mờ “thành tích phóng vệ tinh của Liên Xô,” tờ *Times* nhận xét: *sputnik*, vệ tinh Trái đất nhân tạo đầu tiên, đã nhập quỹ đạo vào ngày 4 tháng 10 năm 1957, hai tháng trước khi Shippingport vận hành.

AEC đã ứng phó tốt nhất có thể. Họ thông báo rằng Shippingport “là nhà máy điện nguyên tử quy mô đầy đủ đầu tiên trên thế giới dành riêng cho sử dụng thời bình.” So sánh thông số của nó vượt trội so với lò phản ứng của Liên Xô tại Obninsk và lò phản ứng làm mát bằng không khí 70 megawatt của Anh tại Calder Hall ở Cumberland, cả hai đều sản xuất plutonium cho vũ khí cũng như điện nội địa.

“Giữa năm 1953 và năm 1957,” một sử gia viết về Eisenhower, “ông ấy đã tham gia vào cuộc chạy đua vũ khí hạt nhân vĩ đại nhất trong lịch sử loài người - cùng lúc với việc quảng bá chương trình Nguyên tử vì Hòa bình.”^[27] Từ 841 quả bom nguyên tử năm 1952, đến cuối nhiệm kỳ thứ hai vào tháng 1 năm 1961, Eisenhower đã đổ đầu cho việc sản xuất một kho vũ khí 19.000 vũ khí hạt nhân với tổng cộng 30 tỉ tấn lực nổ - tương đương mười tấn thuốc nổ TNT cho mỗi người trên Trái đất.^[28] Đằng sau vỏ bọc

quân sự đó, năng lượng hạt nhân thương mại đã có một khởi đầu khiêm tốn.

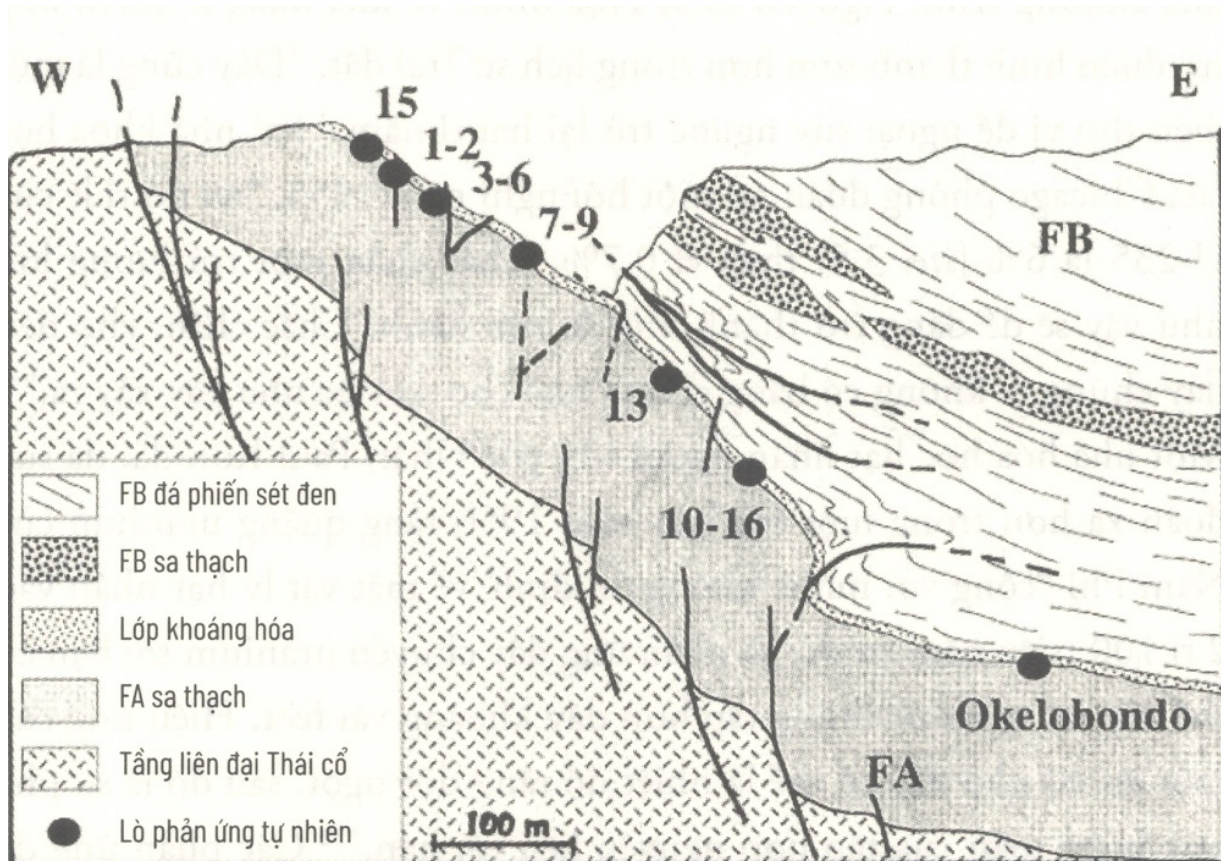
Shippingport là một lò phản ứng thử nghiệm nhằm kiểm tra các thiết kế nhiên liệu mới cũng như sản sinh năng lượng cho thương mại. Năm 1977 nó đã được sửa đổi thành một nhà máy sản xuất nước nhẹ bằng cách thay thế lõi uranium bằng lõi và vỏ bọc thorium. Thorium sinh ra uranium 233, một đồng vị phân hạch khác, từ đó tạo chuỗi phản ứng như U-235 và plutonium. Lò phản ứng hoạt động bằng thorium trong năm năm sau đó, cho đến khi nó ngừng hoạt động vào ngày 1 tháng 10 năm 1982.^[29]

Nhưng lò phản ứng Shippingport và thậm chí CP-1 của Fermi đầu tiên không phải là lò phản ứng phân hạch uranium đầu tiên được xây dựng trên Trái đất. Hai tỉ năm trước, trong một mỏ quặng uranium khổng lồ ngày nay là quốc gia Gabon của Tây Phi, nơi đầu tiên sau một loạt các lò phản ứng tự nhiên đã chạm ngưỡng nguy hiểm khi nước thấm qua vỉa quặng tạo điều kiện cho phản ứng hạt nhân dây chuyền neutron chậm xảy ra. Điều đó có thể xảy ra vì uranium trong các mỏ quặng của Gabon chứa tỉ lệ phần trăm của U-235 cao hơn so với uranium trong quặng ngày nay, ở Gabon hoặc bất cứ nơi nào khác trên Trái đất. Nguyên tố đó trong vỏ Trái đất phổ biến như thiếc, là chất phóng xạ nhẹ. Nó phát ra các hạt alpha, mỗi hạt bao gồm hai proton và hai neutron. Đẩy một hạt alpha ra sẽ làm thay đổi nguyên tử uranium. Lấy đi hai proton từ hạt nhân uranium biến nó từ nguyên tố số 92 thành nguyên tố số 90, thorium. Thorium cũng là phóng xạ nhẹ và lại phân rã tiếp. Thông qua tiến trình phân rã như vậy, uranium trên Trái đất đang dần chuyển mình thành chì.

Hai đồng vị chính của uranium tự nhiên, U-238 và U-235, phân rã với tốc độ khác nhau. U-238 mất khoảng 4,5 tỉ năm để một nửa số nguyên tử phân rã thành thorium. Tuy nhiên, U-235 có chu kỳ bán rã chỉ 700 triệu năm. Điều đó có nghĩa là hai tỉ năm trước, có nhiều U-235 trong tự nhiên hơn ngày nay - không phải là 0,7%, mà là khoảng 3,5%. Đủ để cho phép quặng uranium ở Gabon duy trì phản ứng dây chuyền với nước là chất làm chậm.

Các lò phản ứng ở Gabon không liên tục. Khi nước chảy qua vỉa quặng, nó làm chậm neutron tự phát ra từ U-235 của quặng. Sự phân hạch bắt đầu, một phản ứng dây chuyền theo sau, sự giải phóng năng lượng này làm nóng vỉa quặng, nước sôi, phản ứng tắt, vỉa quặng nguội, nước bắt đầu

chảy trở lại và chu kỳ lặp lại, có thể trên thang giờ hoặc ngày. Các lò phản ứng tự nhiên giống như các mạch nước phun của Công viên Quốc gia Yellowstone, có chu kỳ nước thấm vào các hần nham thạch dưới lòng đất nơi magma nóng đun nó thành hơi nước, hơi thoát ra qua các kênh tự nhiên và phun vào không khí, làm trống các khoang dưới lòng đất và làm tắt mạch nước phun. Sau đó nước lại thấm vào các khoang chứa magma và chu kỳ cứ thế lặp lại.



Mặt cắt ngang của lớp quặng Gabon cho thấy vị trí của lò phản ứng tự nhiên còn sót lại.

Vào tháng 5 năm 1972, một nhân viên tại nhà máy làm giàu uranium Eurodif ở Pierrelatte, Pháp, lần đầu tiên nhận thấy sự khác biệt dẫn đến việc phát hiện ra các lò phản ứng tự nhiên ở Gabon: trong khi phân tích một mẫu chuẩn được đi đầu chế từ quặng uranium, ông đã rất ngạc nhiên khi thấy nó hơi thiếu U-235. Kiểm tra các mẫu khác, Eurodif thấy U-235 bị hao hụt tương tự trong các chuyến hàng quặng của Gabon từ năm 1970 đổ lại. Các chuyến hàng quặng đã mang lại 700 tấn uranium tự nhiên, vì vậy

khoảng 200 kilogram U-235 bị thiếu, đủ để tạo ra ít nhất mười quả bom nguyên tử.^[30]

Vào thời điểm đó, ủy ban Năng lượng Nguyên tử Pháp (CEA) đã tham gia. Trong quá trình tiếp theo của vụ đi điều tra thiếu hụt uranium, một nhà khoa học CEA đã nhớ lại các cuộc thảo luận vào giữa những năm 1950, khi công nghệ lò phản ứng lần đầu tiên được công khai qua chương trình Nguyên tử vì Hòa bình, về khả năng lò phản ứng tự nhiên hình thành sớm hơn trong lịch sử Trái đất. “Đây cũng là một điều thú vị để ngoại suy ngược trở lại hai tỉ năm,” hai nhà khoa học của Chicago phỏng đoán tại một hội nghị năm 1953, “tại đó tỉ lệ của U-235 là 6% *[sic; 3,5]* thay vì 0,7%. Chắc chắn một trữ lượng lớn như vậy sẽ dễ dàng trở thành một lò vận hành. Chắc chắn, cho đến nay chúng ta không có bằng chứng nào cho sự việc như vậy xảy ra.”^[31] Một nhà hóa học hạt nhân người Mỹ gốc Nhật, Paul Kuroda, đã suy đoán xa hơn trong một bài báo năm 1956 rằng quặng uranium của Nam Phi “cộng với nước ‘không ổn định’ về mặt vật lý hạt nhân vào 2 tỉ 100 triệu năm trước, và phản ứng dây chuyền uranium tới hạn có thể xảy ra, nếu nơi chúng tập hợp dày khoảng vài feet. Hiệu ứng của một vụ nổ như vậy có thể là nhiệt độ tăng đột ngột, sau đó là sự phá hủy hoàn toàn của tập hợp nguyên liệu tới hạn.”^[32] Các phản ứng đã xảy ra, nhưng vì chúng không liên tục nên đã không hủy diệt khu vực đó, theo suy đoán của Kuroda.

Về một khía cạnh khác, các lò phản ứng tự nhiên ở Gabon đã chứng minh đi đầu lớn lao hơn sự tò mò đơn thuần. “Nếu không có bất kỳ cấu trúc ngăn chặn nào,” Theodore Rockwell viết, kỹ sư hạt nhân đã xây dựng Shippingport, “plutonium và các sản phẩm phân hạch phóng xạ được tạo ra bởi các lò phản ứng tự nhiên này sẽ bị nén trong lòng đất xung quanh lò phản ứng và không tạo ra bất kỳ vấn đề nào cho các loài thực vật và động vật trong khu vực. Đó là cách mà Thiên nhiên trả lời câu hỏi, ‘Phải làm gì với tất cả số chất thải hạt nhân đó?’”^[33]

TÁC ĐỘNG CỦA SƯƠNG KHÓI

Nước Mỹ nhận biết được ô nhiễm không khí ở Pennsylvania, trong một thị trấn nhỏ trên sông Monongahela nằm cách 45 km về phía nam của Pittsburgh, vào ngày Halloween cuối tuần vào tháng 10 năm 1948. Trước đó, khói đã là một mối phiền toái trong nhiều thành phố và thị trấn trên khắp thế giới, nhưng chỉ có một vụ tử vong do khói, sương mù và ô nhiễm không khí phức tạp được báo cáo. Thảm họa có tiền lệ này từng xảy ra ở một thị trấn trên sông Meuse ở Liège, Bỉ, từ mùng 1 đến mùng 5 tháng 12 năm 1930, khiến 60 người chết trong hoàn cảnh tương tự.^[1]

Năm 1948, suốt thời kỳ Đại Suy thoái và Thế Chiến II, rất ít người bên ngoài nước Bỉ nhớ đến thảm họa ở thung lũng Meuse. Sương mù làm chết 20 người và làm ốm thêm 6.000 người nữa ở Donora, Pennsylvania, vào năm 1948 đã thu hút sự chú ý của công chúng vì nó là nguyên nhân khiến Dịch vụ Y tế Công cộng Mỹ bắt đầu đi đầu tra ô nhiễm không khí.^[2]

Sông Monongahela tạo ra một vành móng ngựa sắc nét uốn quanh Donora, với dốc đứng qua sông cao 137 mét giam cầm thị trấn này từ ba mặt và những ngọn đồi phía sau nó còn vươn cao hơn nữa, khiến thị trấn như nằm trong một cái máng đi vệ sinh. Năm 1948, Donora là một thị trấn có 12.300 người, khoảng 3.000 người trong số đó làm việc tại một trong những nhà máy thép hoặc kẽm dọc bờ sông.

“Dòng sông bị công nghiệp hóa dày đặc,” nhà báo Berton Roueché của tờ *New Yorker* nhận xét, lưu ý rằng tàu vận chuyển qua Monongahela “vượt quá trọng tải của kênh đào Panama.” Roueché nhận ra “sự ùn tắc giao thông trên sông dọc theo bờ hẹp bởi các tuyến và chi nhánh liên vùng của Đường sắt Pennsylvania và Trung tâm New York, các nhà máy luyện kim, nhà máy thép, nhà máy hóa học, xưởng thủy tinh, xưởng đúc, nhà máy than cốc, các

cửa hàng máy móc và kềm, còn những ngọn đ ồi dốc bản thủ với vô số thị trấn công nghiệp đen đúa.”^[3]

Đen đúa nhất trong số các thị trấn công nghiệp là Donora, trong ghi chú của Roueché, với các đường phố bê tông hoặc đá cuội nhưng nhiều bụi bản và than nghi ền. Thị trấn không còn cây và g ần như không có cỏ, có lẽ là do các chất ô nhiễm mà các nhà xưởng thở khò khè ra hằng ngày: một nhà máy thép, một nhà máy dây cáp (làm dây cáp cho cầu Cổng Vàng ở San Francisco hình cây đàn hạc lớn vào năm 1937), một nhà máy kềm và acid sunfuric, “các nhà xưởng lớn... chiếm hai khối nhà... cao năm hoặc sáu tầng, và tất cả chúng đều có những ống khói cao hàng trăm feet liên miên tuôn khói màu đen hoặc đỏ hoặc vàng lưu huỳnh.”^[4]

Trên thị trấn ảm đạm này, vào cuối tuần thảm họa năm 1948 đó, xuất hiện một màn sương “dày đặc gây buồn nôn,” Roueché nhớ lại.^[5] Một trong những quan chức y tế công cộng đã phỏng vấn cư dân Donora sau đó đã nghe về “những dải carbon [trong màn sương] như treo bất động trong không khí.”^[6] T ần nhìn xấu đến nỗi ngay cả người bản xứ cũng mất phương hướng. Mọi người đổ ra đường tối thứ Sáu cho cuộc diễu hành Halloween hằng năm, nhưng “tất cả mọi người đều không khỏi bàn tán về sương mù,” một nhân viên y tế nói với Roueché. “Trong đi ều kiện thế này thì diễu hành Halloween sẽ chỉ lãng phí thời gian. Bạn thực sự không thể nhìn thấy bất kỳ thứ gì...”

Mọi người đều ho.”^[7] Nhân viên nhà tang lễ trong thị trấn nói rằng màn sương “có mùi độc.”^[8]

Cái chết đã giải thoát nạn nhân đầu tiên khỏi sự giày vò từ nôn mửa và ho khan vào 2 giờ sáng thứ Bảy. Nhiều cái chết nối tiếp trong khi vài bác sĩ ít ỏi của Donora phải căng mình ứng phó với các cuộc gọi cấp cứu từ nhà dân suốt hai ngày liên tục. Sở cứu hỏa đã giúp đỡ nhưng họ sớm cạn kiệt nguồn oxy trợ thở và phải cầu viện các thị trấn ở hạ lưu. Hội chữ thập đỏ đến và mở một trung tâm khẩn cấp. Đến nửa đêm đã có 17 người chết. Thêm hai người chết vào Chủ nhật, khi bỗng nhiên một cơn mưa trút xuống giúp đánh tan sương mù. (Nạn nhân cuối cùng số 20 qua đời một tuần sau đó.)

Cục Dịch vụ Y tế Công cộng Mỹ mất một năm để đưa ra báo cáo khám nghiệm tử thi. Chín kỹ sư, bảy bác sĩ, sáu y tá, năm nhà hóa học, ba nhà

thống kê, hai nhà khí tượng, hai nha sĩ và một bác sĩ thú y đã nghiên cứu, kiểm tra và phỏng vấn người dân thị trấn và đi điều tra môi trường ở đó.^[9] Ngoài ho, ngạt, chảy nước mắt, đau đầu, khó thở, đau ngực và đau họng, người bệnh còn than phiền về buồn nôn, nôn và tiêu chảy. Số lượng các triệu chứng tăng theo độ tuổi: trẻ nhỏ vẫn khỏe mạnh nhưng gần một nửa số người trên 65 tuổi bị ảnh hưởng nghiêm trọng và tất cả những người tử vong đều từ 52 tuổi trở lên. Trong tổng dân số khu vực, 42,7% - 5.910 người - được báo cáo là đang bị ảnh hưởng. Hay theo ngành y thì họ “chịu tác động từ màn sương.”^[10]

Mặc dù thảm họa đang diễn ra, tổng giám đốc nhà máy thép và dây cáp cùng người đứng đầu nhà máy kẽm tiếp tục vận hành nhà máy của họ, bơm khói độc vào màn sương cho đến sáng Chủ nhật, khi công ty mẹ U.S. Steel ra lệnh cho họ đóng cửa. Tuy nhiên, họ đã báo với thị trưởng rằng họ “chắc chắn các nhà máy không liên quan gì đến rắc rối này.”

Các nhà đi điều tra của Cục Y tế Công cộng kết luận rằng không có chất gây ô nhiễm nào trong không khí Donora với khối lượng đủ để gây tử vong và bệnh nặng. Các nhà đi điều tra chỉ tìm thấy tàn dư của hydro và kẽm clorua, oxid nitơ, hydro sunfua và oxid cadmium. “Lưu huỳnh dioxit và tổng lượng lưu huỳnh,” họ viết, là “thành phần chính của tải lượng ô nhiễm trên toàn bộ khí quyển” - thứ khiến sương mù chuyển màu vàng - nhưng các chuyên gia thừa nhận họ không có cách nào sau thảm họa để đo chính xác nồng độ hóa chất trong thời điểm thảm họa. “Có vẻ hợp lý để tuyên bố,” họ kết luận, “rằng trong khi không có đơn chất nào chịu trách nhiệm cho tai họa tháng 10 năm 1948, hội chứng có thể đã phát sinh từ một sự kết hợp... của hai hoặc nhiều hơn các chất gây ô nhiễm.” Trong phần mở đầu của báo cáo, như thể có phần xin lỗi, vị tổng y sĩ nói rằng “phải cho đến khi tác động bi thảm của Donora xảy ra thì cả nước mới nhận thức được rằng có thể có một mối nguy nghiêm trọng đối với sức khỏe từ các chất gây ô nhiễm không khí.”^[11]

Một nhà tư vấn tên Philip Sadtler đã tuyên bố ngược lại rằng báo cáo của Cục Y tế Công cộng là hành vi che đậy và nguyên nhân thực sự của bệnh tật và cái chết là do tiếp xúc với nồng độ flo độc hại. Sadder, người đứng đầu Viện thí nghiệm Nghiên cứu Sadtler ở Philadelphia, đã có kinh nghiệm nghiên cứu về ô nhiễm flo từ công việc trước đây với tư cách là đi điều tra viên trong một vụ kiện chống lại DuPont, công ty sản xuất hydro

florua cho Dự án Manhattan trong Thế Chiến II. Với 1.944 cây trồng bị phá hủy do ô nhiễm flo, những người trồng đào ở Hạt Salem, New Jersey, đã khởi kiện và được bồi thường 400.000 đô-la cho thiệt hại của họ.⁽³⁹⁾

Một sĩ quan Dự án Manhattan, Trung tá Cooper B. Rhodes, đã tham dự một cuộc họp tại Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Mỹ (FDA) liên quan đến cái gọi là vụ kiện vườn đào. Bộ Nông nghiệp đã triệu tập một cuộc họp để thảo luận về việc tịch thu “các sản phẩm rau củ” được trồng trong một phần của New Jersey bị ảnh hưởng bởi nhà máy flo của DuPont. Một luật sư của DuPont, C. E. Geuther, đã yêu cầu cuộc họp. Theo Rhodes, Geuther đã mở đầu phiên họp bằng cách tuyên bố rằng bất kỳ hành động nào của FDA nhằm lên án “hàng nông sản” của New Jersey sẽ tạo ra “một tình huống quan hệ công chúng tồi tệ” cho DuPont. Geuther cho biết DuPont đã không thừa nhận rằng hàm lượng flo trong rau củ “dưới bất kỳ hình thức nào phản ánh các hoạt động hoặc dự án nào của Công ty DuPont,” mà là “công ty đã thực hiện các bước để loại bỏ hoàn toàn lượng nhỏ hiện tại [hydro florua] hiện đang được thải vào khí quyển từ nhà máy Chambers Works.”^[12] Dân không chuyên thì hiểu đơn giản là: chúng tôi không thừa nhận làm điều đó, nhưng chúng tôi đang xử lý nó. Đề xuất của FDA theo sau cuộc điều tra về ô nhiễm flo với cây trồng ở New Jersey, và Rhodes đã biết được sau cuộc họp với Geuther rằng thông tin từ phía Philip Sadtler đã kích hoạt cuộc điều tra.

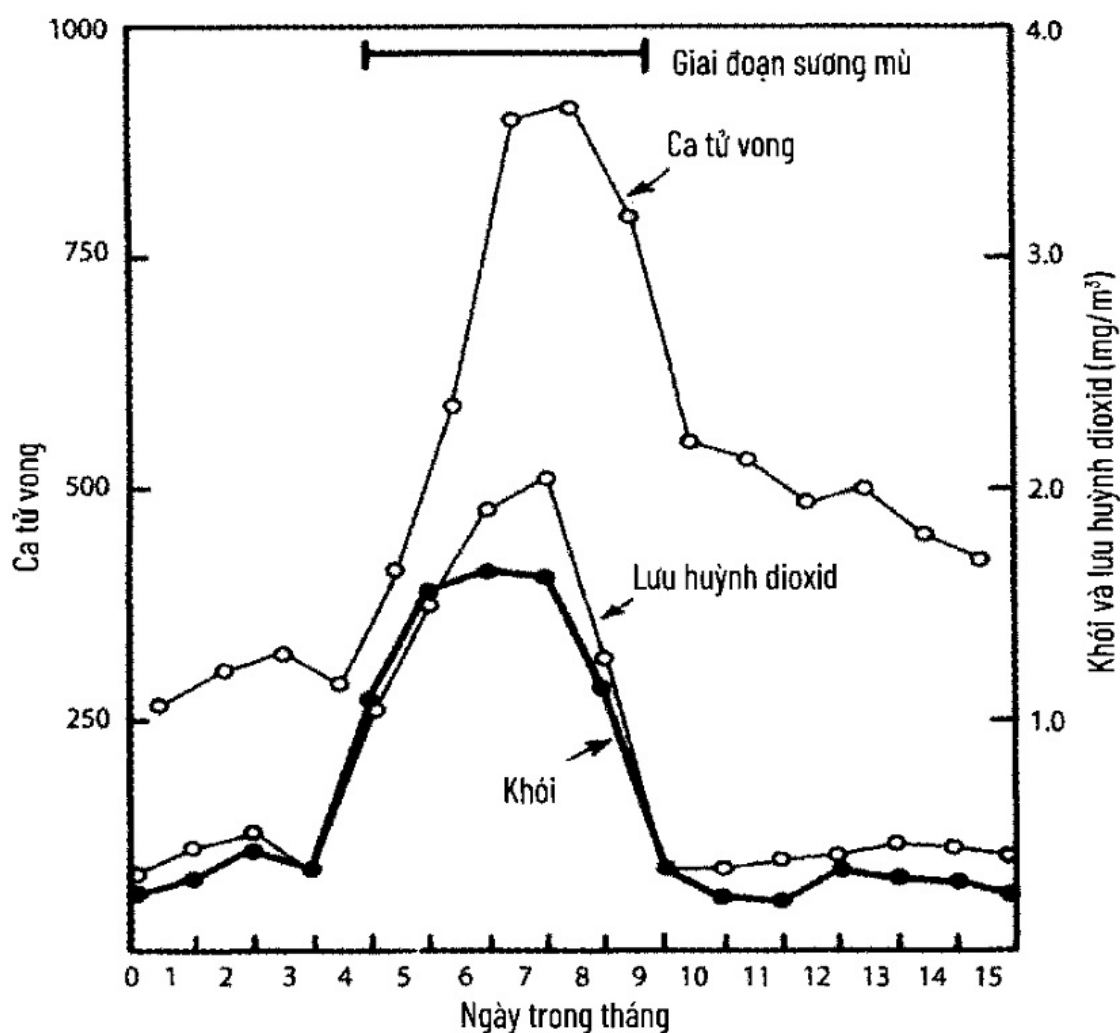
Chính trên bối cảnh này Sadtler nhìn vào thảm họa ở Donora. Ông đến thăm thị trấn ngay sau sự kiện: một tin vắn đăng trên tạp chí thương mại *Chemical and Engineering News* ngày 13 tháng 12 năm 1948 tổng hợp các phát hiện của Sadtler. “Các chứng cứ dựa trên suy đoán và chứng cứ thực tế đã được tìm thấy,” họ mở đầu câu chuyện, “xác thực tình trạng ngộ độc flo cấp tính do khói bụi ở Thung lũng sông Monongahela với những người đã bị nhiễm độc flo mạn tính” - có nghĩa là tiếp xúc mạn tính trong môi trường công nhân nhà máy.

Sadtler đã chất vấn đội ngũ bác sĩ điều trị cho các nạn nhân và khám nghiệm tử thi. Ông nói với tờ *News* rằng “phân tích máu của các nạn nhân đã chết và người nhập viện cho thấy lượng flo gấp 12 đến 25 lần bình thường.” Ông cũng phát hiện ra rằng “những cánh đồng ngô vốn rất nhạy cảm với flo, đã bị thiệt hại nghiêm trọng, và tất cả các thảm thực vật ở phía bắc thị trấn [xuôi hướng gió từ các nhà máy] đều đã chết hết.” Nói một

cách dễ hiểu, tất cả những người đã chết đều có các triệu chứng mạn tính của ngộ độc flo.^[13]

Được phỏng vấn vào năm 1996, sau một sự nghiệp lâu dài và nổi bật, Sadtler trả lời thẳng thừng với một phóng viên: “Đó là vụ giết người. Các giám đốc của Công ty Thép Mỹ đáng lẽ phải ngồi tù vì tội giết người.”^[14] Sau khi đăng bài trên tạp chí *Chemical and Engineering News*, Sadtler cho hay mặc dù đã là một cộng tác viên đóng góp thường xuyên, biên tập viên đã bảo ông rằng không cần gửi bài cho tạp chí nữa. Hiệp hội Hóa học Mỹ xuất bản tờ tạp chí này; một cựu chủ tịch của Hội, Tiến sĩ Edward R. Weidlein, một nhà hóa học công nghiệp có mối quan hệ với tập đoàn Union Carbide đã đưa ông vào danh sách đen. Trong một vụ kiện tập thể tiếp theo vào năm 1950 do gia đình các nạn nhân ở Donora đệ trình, đối mặt với khả năng thẩm phán có thể đưa ra các mẫu phân tích không khí mà Công ty Thép Mỹ đã lấy vào đỉnh điểm thảm họa Donora, công ty chấp nhận đền bù không qua xét xử. Ngay cả Cục Dịch vụ Y tế Công cộng Mỹ cũng không công bố báo cáo cuối cùng.^[15]

Sự nhận thức về các chất gây ô nhiễm sương mù đã không được cải thiện vào năm 1952, khi một màn sương mù cực độc làm mờ London trong khoảng thời gian từ ngày 5 đến ngày 9 tháng 12 gây ra hơn 3.000 cái chết, nhiều hơn ba lần so với thông lệ.^[16] Giống với “thứ khói xác xộc” thời John Evelyn, thứ sương mù này đã xâm lấn vào trong nhà ở. Một người London nhớ lại lúc đi làm: “Đến 2 giờ chiều là bạn không thể nhìn từ đầu đến cuối hành lang. Nó dày, vàng và có ai đó gõ cửa văn phòng tôi và nói, ‘Về nhà đi, chúng tôi sẽ đóng cửa.’... Tôi sẽ không bao giờ quên bởi vì sương khói dày đến nỗi bạn thực sự cảm thấy như đang đặt chân vào chiến trường.”^[17] Trái khoáy thay, Bộ Y tế quy kết những cái chết đột ngột này cho một dịch cúm, mặc dù số ca tử vong bất thường trong ba tháng đầu năm 1953 gấp bảy lần số người chết vì cúm.^[18] Báo chí London thì không ngu ngốc thế: họ liền gọi nó là sự kiện “Sát thủ Sương mù.”^[19] Thành phần chính của nó là các hạt khói than đen bao phủ bởi lưu huỳnh dioxit.



Chiến tích của Sát thủ Sương mù hồi tháng 12 năm 1952. Số ca tử vong tương quan chặt chẽ với sự gia tăng cao điểm của lưu huỳnh dioxit và khói trong một đợt đảo ngược nhiệt độ mùa đông.

Quốc hội Anh củng lại việc hành động dựa trên bằng chứng về ô nhiễm không khí chết người, lo sợ tổn hại cho ngành công nghiệp Anh, nhưng ủy ban được chỉ định để đi đầu tra tở ra nghiêm túc với công việc của mình và đã đi đến một báo cáo khuyến nghị giảm 80% lượng khói ở London trong thập niên tới. Đạo luật Không khí Sạch năm 1956 cấm phát thải “khói đen... từ ống khói của bất kỳ công trình xây dựng nào,” cấm đốt chất thải, hoặc lắp đặt bất kỳ lò hoặc n ồi hơi nào phát ra khói. Chính quyền địa phương có thể chỉ định các khu vực kiểm soát khói, trong khi chính phủ có thể cho phép sử dụng các lò sưởi được thiết kế tốt.^[20] Đạo

luật về cơ bản đã chuyển đổi đun nấu bằng nhiên liệu rắn như than sang khí đốt: khí nhân tạo; propan lỏng nhập khẩu, bắt đầu từ năm 1959; và sau năm 1965 các mỏ khí lớn ngoài khơi Yorkshire được phát hiện, có khí đốt tự nhiên. Từ khi khí đốt tự nhiên đốt nóng hơn khí propan hoặc khí nhân tạo, khoảng 20 triệu đồ gia dụng dùng khí đốt đã được đi đầu chỉnh hoặc thay thế. Quá trình đó mất mười năm kể từ năm 1967. Một “sát thủ sương mù” khác đã xuất hiện ở London vào năm 1962, nhưng qua từng năm, Vương quốc Anh dần làm sạch bầu không khí.^[21]

Một loại “sương mù” khác đã bắt đầu ảnh hưởng đến không khí ở Los Angeles trong thời kỳ Thế Chiến II và giai đoạn 1940-1950, rồi xa hơn nữa. Mọi người gọi nó theo tên hiện tại, khói bụi, nhưng các chuyên gia vẫn gắn kèm nghĩa cũ của từ này: “sương mù ám khói.” Thuật ngữ đó được sử dụng từ năm 1905 khi thủ quỹ danh dự của Hiệp hội Giảm thiểu Khói than Anh đã dùng nó để mô tả sự ảm đạm khói mù ở London.^[22] Lượng đăng ký xe cơ giới Mỹ tăng hơn gấp đôi từ năm 1945 đến năm 1955, từ khoảng 26 triệu đến hơn 52 triệu xe, phần lớn các động cơ không được lọc đó xả khói thoải mái vào lưu vực tự nhiên của Hẻm Los Angeles. Sự nghịch đảo thời tiết diễn ra thường xuyên, không khí trở nên u ám và đổi màu nâu và gây đau đớn khi thở, khiến cho dân cư phàn nàn với sự cay đắng ngày càng tăng. Họ cứ đổ trách nhiệm lên đầu một thị trưởng nào đó trong 45 thị trấn ở thung lũng. Động cơ xả thải vẫn thoát tội, trái khoáy thay. Sự đổ lỗi đã dấn vào các nhà máy lưu vực, các nhà máy lọc dầu và thậm chí là việc đốt rác sân sau. “Một số người đã đổ lỗi cho khói bụi trên Núi lửa Parícutin của Mexico,” một tạp chí về công nghiệp dầu mỏ định kỳ đã ung dung nhận xét; “một số thậm chí kết tội cả bom nguyên tử; và vẫn còn những người đã coi sương khói là sự hóa thân của năng lượng tà giáo.”^[23]

“Vào thời điểm đó,” nhà hóa học tại Caltech kiêm nhà phát minh thiết bị, Arnold Beckman nhớ lại, đề cập đến cuối những năm 1940, “đã có sự nhầm lẫn lớn và không rõ ràng về nguyên nhân của khói bụi và giải pháp để loại bỏ nó, rất nhiều tiếng cầu nhàu về pháp lý và chính trị, những lời hô hào điên cuồng của vô số những nhóm công dân đòi giải quyết khói bụi ngay lập tức.” Các thành phố kêu gọi các chuyên gia tìm hiểu nguyên nhân, trong đó có Tiến sĩ Edward Weidlein, giám đốc của Viện Nghiên cứu Công nghiệp Mellon ở Pittsburgh và là người sẽ đưa Philip Sadtler vào danh sách đen. Với nhân viên từ Cục Khai mỏ Mỹ, Weidlein đã dành hai tuần để

ngiên cứu khói bụi ở California. “Chẳng được tích sự gì,” Beckman nói. “Dựa trên các thử nghiệm của riêng họ đo lường chủ yếu b ô hóng và SO₂ [lưu huỳnh dioxit], không khí ô nhiễm của Los Angeles thậm chí còn sạch hơn không khí tinh khiết của Pittsburgh! Họ đã sững sờ trước kết quả đó.”^[24]

Năm 1947, để dễ thực thi trên khắp các thị trấn, California cho phép tạo ra các khu kiểm soát ô nhiễm không khí ở mỗi hạt trong bang. Ngành công nghiệp dầu khí đã phản đối dự luật cấp bang này và xoay xở được một khoảng thời gian để nó không được áp dụng. Tuy nhiên Phó chủ tịch đi đầu hành của Công ty Dầu Liên minh của California, W. L. Stewart Jr., đã triệu tập một cuộc họp giữa các giám đốc đi đầu hành mà công ty của ông trong tương lai sẽ phụ thuộc vào tình hình ở Los Angeles. (Công ty này là một trong những công ty dầu khí đầu tiên ở California, được thành lập bởi cha của ông vào năm 1890.) Union Oil, Stewart nói với các giám đốc đi đầu hành, sẽ ủng hộ dự luật của bang. Các công ty khác nhận ra ý đồ của Stewart: dự luật được nhất trí thông qua. Khu Kiểm soát Ô nhiễm Không khí Hạt Los Angeles là nơi đầu tiên được thiết lập ở bang và trên toàn nước Mỹ. Vào tháng 10 năm 1947, một bạn học của Beckman tại Đại học Illinois, Tiến sĩ Lewis C. McCabe, được bổ nhiệm làm giám đốc.

Mọi người đầu cho rằng nguyên nhân chính của khói bụi Los Angeles là lưu huỳnh dioxit. “Họ đã coi đó là đi đầu hiển nhiên,” Beckman nói, “rằng hóa chất SO₂ là hung thủ chịu trách nhiệm cho khói mù và dị ứng mắt. Cũng có một số biện minh cho quan điểm này, ở Pittsburgh và St. Louis, ô nhiễm không khí quả thực là do b ô hóng và SO₂. Vì không có b ô hóng trong khu vực Los Angeles, rõ ràng là SO₂ phải là chất gây ô nhiễm đáng ghét.” SO₂ không gây kích ứng mắt và phổi. Các “nhà khoa học nghiệp dư,” Beckman gọi họ như vậy, cũng lên án SO₂, nhận thấy nó có thể bị oxy hóa thành SO₃, lưu huỳnh trioxit, thành phần chính trong mưa acid. Quần tất nylon, một sản phẩm hàng dệt kim mới tại thời điểm đó, đã bị thủng và rách khi tiếp xúc với khói bụi không khí, một dấu hiệu khác để các “nhà khoa học nghiệp dư” của Beckman tin chắc rằng SO₃ - thứ hòa tan trong nước tạo thành acid sunfuric ăn mòn mạnh - đã gây ra đi đầu đó.^[25]

Beckman nghĩ khác vì một lý do đơn giản: là một kỹ sư hóa học, ông biết rằng SO_2 có mùi hăng đặc trưng giống như trứng thối. “Tôi không nghĩ thấy SO_2 trong không khí,” ông nói, “nên không tin chuyện nó là thủ phạm của khói bụi ở Los Angeles.” Đi cùng với một nhà hóa học đồng nghiệp, Beckman đã gặp gỡ McCabe. Bản thân ông phải chịu áp lực thúc đẩy tiến độ từ mọi phía. “Con người tội nghiệp này cũng đang bị quấy rầy từ tứ phía,” Beckman nhớ lại. Ông thúc giục vị tân giám đốc của cơ quan ô nhiễm không khí “làm một nghiên cứu nhỏ,” gồm cả phân tích thành phần không khí. “Làm gì còn thời gian nào nữa mà nghiên cứu,” McCabe phản bác. Cuối cùng, hai nhà hóa học đã thuyết phục được McCabe.^[26]

Để phân tích một mẫu không khí họ cần một nhà hóa học lành nghề. Beckman có một ứng cử viên trong tầm trí, một đồng nghiệp đồng thời là người bạn mà ông ngưỡng mộ. Arie Haagen-Smit là một người Hà Lan, một nhà hóa học hữu cơ kiêm giảng viên hóa học tại Học viện Công nghệ California ở Pasadena, 16 km phía đông bắc trung tâm thành phố Los Angeles. Sinh ra ở Utrecht năm 1900, Haagen-Smit theo ngành sinh tổng hợp chuyên về các loại tinh dầu. Lúc đó ông đang nghiên cứu cách cô lập hương vị của dứa bằng cách ngưng tụ hơi dứa trong một phòng hóa học đầy trái cây chín.

Các thiết bị được thiết kế để phân tích tinh chất dứa sẽ áp dụng được với khói bụi. Haagen-Smit, một người đàn ông to lớn, chất phác, đã thu 850 mét khối khói mù của Pasadena qua một cửa sổ mở và đưa nó qua một cái bẫy được làm lạnh bằng không khí lỏng.^[27] Cùng với hơi nước đóng băng, cái bẫy của ông bắt được thứ mà Beckman gọi là “mấy giọt chất lỏng màu nâu sẫm có mùi hôi thối.”^[28] Khi nhà hóa học người Hà Lan phân tích nó, ông báo cáo nó là hydrocarbon no và không no từ các sản phẩm dầu mỏ và dung môi công nghiệp. “Nó bao gồm tất cả các chất liệu bị thất thoát tại các mỏ dầu, nhà máy lọc dầu, trạm xăng, nhà máy ô tô, v.v.” Điều khác thường về nguồn ô nhiễm không khí mới được xác định này là hai giai đoạn hình thành của nó. Nó bay vào không khí một cách vô hình từ tất cả các nguồn mà Haagen-Smit đã liệt kê, nhưng sau đó nó bị oxy hóa - rỉ sét - thành bụi màu nâu xám “dưới tác động của ánh sáng mặt trời và ozone, và có thể từ các chất gây ô nhiễm không khí khác như nitơ oxid... Trong những phản ứng này, sol khí⁽⁴⁰⁾ được hình thành có đặc tính gây dị ứng mắt, hơn thế nữa kích thước nhỏ của các hạt này có thể làm giảm tần

nhìn.”^[29] Khói bụi ở Los Angeles không phải là khói và sương; nó là hydrocarbon oxy hóa. Vì *sương khói* là một từ quá phổ thông để ngừng sử dụng, nó cần một tính từ đặc trưng cho hai giai đoạn hình thành của nó: sương mù quang hóa. Sinh viên của Haagen-Smit tại Caltech thì gọi nó là Haagen-Smog.

Giải quyết vấn đề khói bụi sẽ không đơn giản như vậy, nó cũng sẽ khó như cấm đốt rác tại nhà hay cấm dùng than. Haagen-Smit ước tính rằng khối lượng của ozone trong lưu vực Los Angeles trong các đợt tấn công nghiêm trọng của khói bụi là khoảng 500 tấn, và trọng lượng thực tế của lớp phủ kín diện tích hơn 1.500 km² và dày 300 mét này là không dưới 650 triệu tấn. “Trọng tải khổng lồ này,” nhà hóa học người Hà Lan viết, “là chi tiết thường bị bỏ qua trong ‘cách giải quyết nhanh chóng’ cho khói bụi, khi có các đề xuất được đưa ra như đặt quạt trên núi hoặc khoan đường hầm xuyên qua núi để xua tan khói bụi.” Ông cáo buộc ngành dầu khí đã cho phép các sản phẩm xăng bay hơi từ bể chứa quy mô ao hồ và từ bể chứa có không gian giữa mái và bề mặt nhiên liệu, cho phép xăng bay hơi liên tục. (Cuối cùng, ông thuyết phục họ che bể chứa và lắp đặt mái nổi trong bể, vừa tiết kiệm tiền vừa cứu được bầu không khí.) Nhưng nửa triệu chiếc ô tô chạy quanh Los Angeles, ông viết, đốt cháy “khoảng 12.000 gallon xăng mỗi ngày, kể cả nếu đốt cháy hoàn toàn đến 99%, trên thực tế chắc chắn là không thể, sẽ phát tán 120 tấn xăng chưa cháy” mỗi ngày vào bầu không khí California.^[30]

“Kết luận này đã làm bùng nổ những sự phản đối quyết liệt,” theo Beckman, “đặc biệt là từ các công ty dầu mỏ và các nhà sản xuất ô tô. Haagen-Smit là đồ trí trá, họ phản bác.” Nhóm khoa học gia từ Viện Nghiên cứu Stanford (SRI) được ngành công nghiệp chống lưng đã tiến hành các thử nghiệm của riêng mình, nhận được các kết quả khác và tuyên bố nhà hóa học người Hà Lan đã phạm một sai lầm nghiêm trọng. (Trên thực tế, SRI là bên sai dù có các công cụ đắt tiền và tinh vi. Họ đã sử dụng nồng độ khí cực cao trong các phép đo của mình và các chất khí này làm nguội mất phản ứng sương khói. Haagen-Smit uốn cong các dải sẫm cũ để đo độ nứt của chúng khi tăng phơi nhiễm ozone.)

Căm phẫn và giận dữ, Haagen-Smit quyết tâm chứng minh SRI sai. Ông liền gặt phát nghiên cứu tinh dầu dừa của mình và bỏ ra sáu tháng tới để phân tách phức hợp khí và hạt trong sương mù quang hóa. “Nhà bác học

Hà Lan giới thiệu một khái niệm hoàn toàn mới về ô nhiễm không khí,” Beackman kết luận, “và mang lại một cuộc cách mạng trong nỗ lực để có được không khí sạch. Ông đã xác định và dừng cấm buộc tội các ngu ời gây ô nhiễm không khí chính: ô tô, nhà máy lọc dầu, nhà máy điện và nhà máy thép.” Nghiên cứu của Haagen-Smit đã mở đường cho tiến trình trường kỳ và quyết liệt hướng tới các hệ thống kiểm soát ô nhiễm trên ô tô hiện hành và những tiêu chuẩn công nghiệp khắt khe hơn. Los Angeles, và cả thế giới nữa, có được không khí sạch hơn một phần nhờ vào kỹ năng khoa học và sự phẫn nộ về đạo đức của một người Hà Lan bướng bỉnh.^[31]

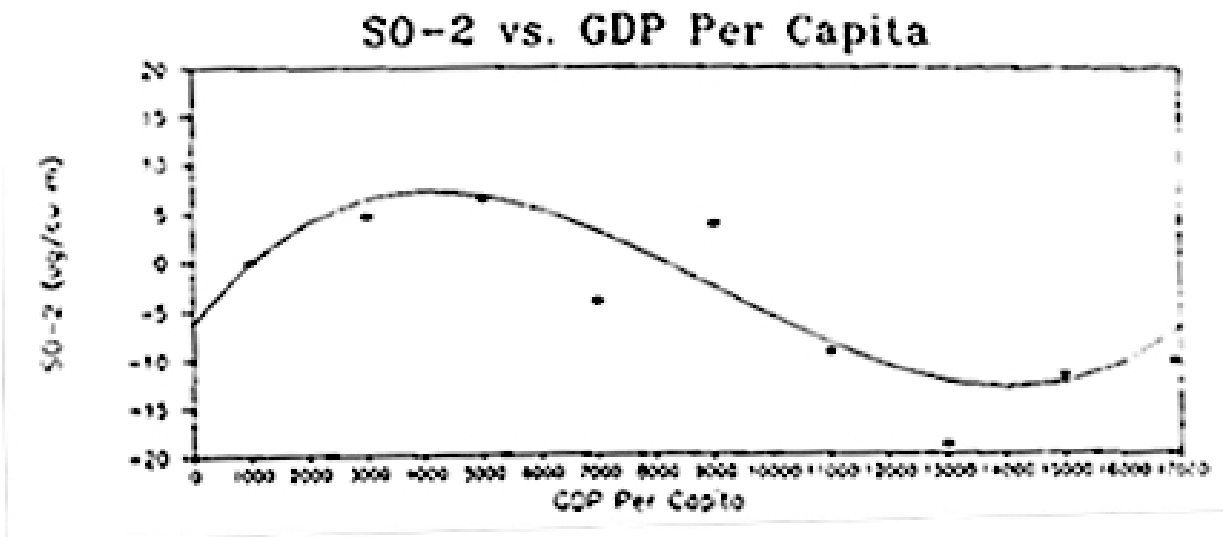
Trong những thập niên tiếp theo, sự phản kháng của ngành công nghiệp năng lượng đã nhường chỗ cho sự đồng tình miễn cưỡng. Vào tháng 7 năm 1970, theo lệnh hành pháp, Tổng thống Richard Nixon đã thành lập Cơ quan Bảo vệ Môi trường (EPA), khởi đầu thực sự hiệu quả cho việc kiểm soát ô nhiễm không khí liên bang. Năm tháng sau, chiếm phiếu đại đa số, Quốc hội Mỹ đã thông qua Đạo luật Không khí Sạch.^[32] Tiếp theo là các cơ quan quản lý liên bang, những người đang đặt ra các tiêu chuẩn ngày càng nghiêm ngặt trên toàn nước Mỹ. Xăng không chì là bắt buộc với những chiếc xe mới vào năm 1975, không phải để giảm khối lượng chì trong khí quyển ô nhiễm mà để bảo vệ các bộ chuyển đổi xúc tác cần thiết cho hệ thống ống xả của tất cả các đời xe mới.

Cắt giảm xăng pha chì theo sau trong những năm 1980 khi nghiên cứu tiết lộ những tổn thương thần kinh mà chì gây ra với trẻ con.^[33] Phần lớn ô nhiễm b ồ hóng ở Thành phố New York, các nhà nghiên cứu nhận thấy, không phải đến từ ô tô mà do đốt rác không được lọc, chuyện đó cuối cùng đã được kiểm soát.^[34] (Giai đoạn 1959-1960, khi tôi sống ở Manhattan, b ồ hóng nhanh chóng khiến bất kỳ loại giấy máy đánh chữ nào tôi để lộ thiên trên căn hộ của mình thành quá bẩn không sử dụng được.)



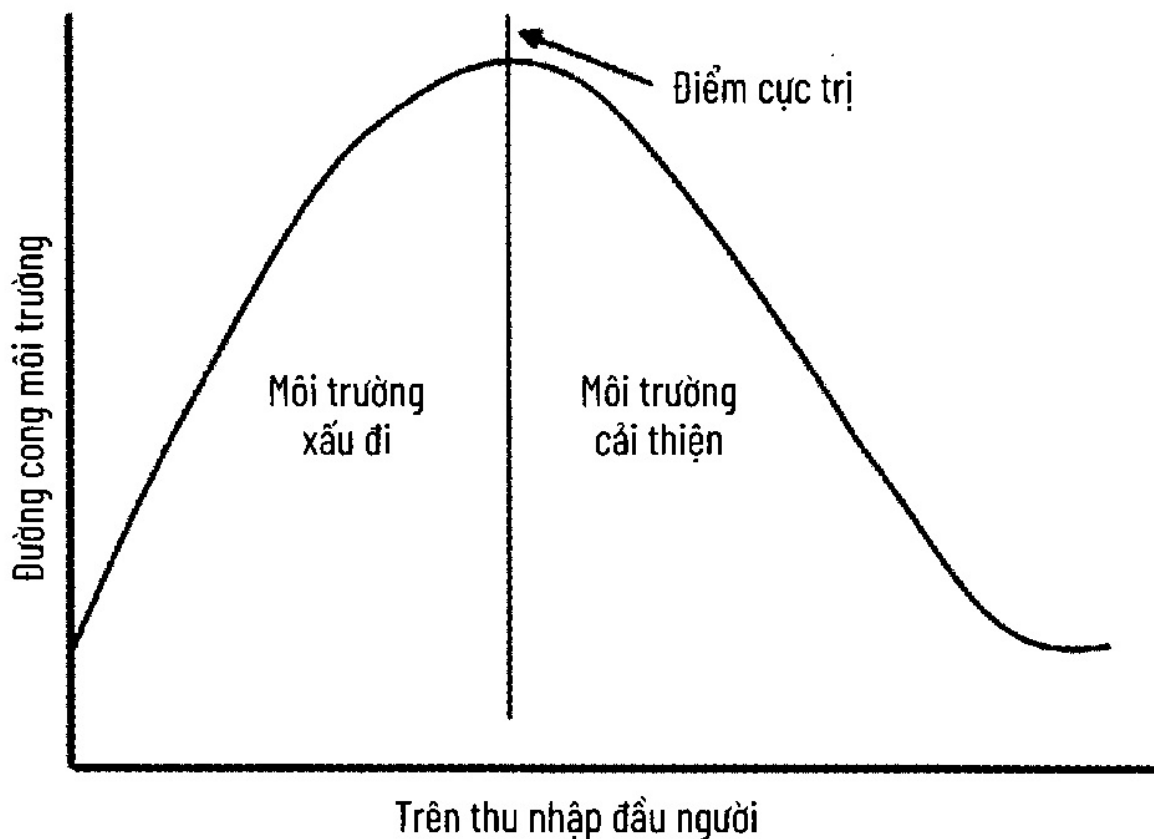
Khói bụi che khuất cầu George Washington, Thành phố New York, năm 1973.

Năm 1991, trong khi nghiên cứu các tác động môi trường với Hiệp định Thương mại Tự do Bắc Mỹ (NAFTA) sau đó được đàm phán giữa Mỹ, Canada và Mexico, hai nhà kinh tế của Đại học Princeton đã phát hiện ra một xu hướng gây tò mò. Khi phân tích mối quan hệ giữa mức độ ô nhiễm không khí và tăng thu nhập của khu vực đô thị ở 42 quốc gia, họ phát hiện ra rằng nồng độ hai chất gây ô nhiễm - lưu huỳnh dioxit và “khói” - tăng theo GDP đầu người ở mức thu nhập quốc dân thấp nhưng lại giảm khi GDP tăng trưởng ở mức thu nhập cao.^[35] Biểu đồ kết quả của SO_2 trong bài báo gây tiếng vang năm 1991 của họ trông như thế này:



SO₂ và GDP đầu người

Đường cong trên biểu đồ của các nhà kinh tế học Princeton tình cờ giống với đường cong Kuznets, một hình ảnh minh họa của một lý thuyết kinh tế gây tranh cãi mang tên nhà kinh tế học người Mỹ gốc Belarus thế kỷ 20 là Simon Kuznets. Kuznets đã chỉ ra mối tương quan giữa gia tăng thu nhập và gia tăng bất bình đẳng, hai mối quan hệ tưởng như không chút liên quan. Do đó, phiên bản của các nhà kinh tế học Princeton này được gọi là đường cong môi trường Kuznets (EKC). Ở dạng chuẩn, nó trông như thế này:



Đường cong môi trường Kuznets

Đường cong môi trường Kuznets mô hình hóa mối quan hệ như các nhà kinh tế học Princeton đã tìm thấy: gia tăng ô nhiễm trong giai đoạn đầu của công nghiệp hóa và sau đó, ở một ngưỡng thu nhập cá nhân tăng, nỗ lực giảm ô nhiễm cũng tăng theo. Đó là ít nhiều kinh nghiệm về ô nhiễm khói ở Mỹ trong nửa đầu thế kỷ 20 ở Pittsburgh, New York, Chicago và các thành phố khác. Đó là bài học ở Los Angeles với sương mù quang hóa trong những năm 1950 và 1960, và trên toàn quốc bắt đầu từ những năm 1970. Tuy nhiên, nghiên cứu sâu hơn nhận thấy mô hình EKC không nhất quán một cách lạ lùng, đúng nhất khi áp dụng vào ô nhiễm không khí nhưng sai với chất lượng nước hay tăng mức độ carbon dioxide, khí nhà kính.^[36] Mặc dù không nhất quán, mô hình EKC vẫn là con cưng của giới tư bản bảo thủ, những người thích tuyên bố đi đầu đó chứng tỏ rằng tăng trưởng kinh tế không bị chính phủ đi đầu tiết sẽ quét sạch ô nhiễm với một cây chổi vô hình.

Mô hình chèn chéo một phần của việc cải thiện môi trường quan niệm những cải tiến như vậy là một thứ hàng hóa xa xỉ: giới thượng lưu mua không khí và nước sạch hơn và không gian ít chật chội hơn (giới kinh tế học gọi nó là sự “tiện nghi môi trường”). Trong mô hình này nhu yếu phẩm vẫn phải chăng khi sản xuất trở nên hiệu quả hơn và vật liệu mới thay thế tài nguyên thiên nhiên dần cạn kiệt, trong khi tiện nghi môi trường trở nên đắt đỏ hơn: điện vẫn rẻ, nhưng chỉ có một công viên quốc gia Grand Canyon, nhiều người hơn có nghĩa là ít cơ hội tiếp cận hơn. Các nhà kinh tế không thích mô hình này và tuyên bố bác bỏ nó.^[37]

Ở đầu đó thời hậu Thế Chiến II có lẽ tụt lại tâm trạng mong ngóng hòa bình, yên tĩnh, gia đình và một khởi đầu mới cho một thế giới mới tinh khôi. Cựu chiến binh trở về nhà mệt mỏi vì chiến tranh, mệt mỏi vì mồ hôi, mùi hôi thối, buồn chán và giết chóc. Các quốc gia đã chào đón họ với sự quan tâm: những khoản tiết kiệm lớn đã được khuyến khích trong cuộc chiến nhằm hạn chế lạm phát; dần nén nhu cầu hàng hóa phân phối hoặc không có sẵn trong thời chiến và trong thời kỳ Đại Suy thoái trước đó; Luật Tái thích nghi cho quân nhân (GI Bill) chi trả cho đào tạo đại học hoặc dạy nghề hỗ trợ cho quyền sở hữu nhà. Nhà kinh tế học Robert J. Gordon viết, “Cuộc Đại Nhảy vọt về năng suất lao động của Mỹ diễn ra hồi giữa thế kỷ 20 là một trong những thành tựu vĩ đại nhất trong lịch sử kinh tế. Nếu nền kinh tế tiếp tục tăng trưởng với tốc độ trung bình hằng năm của giai đoạn 1870-1928, thì đến năm 1950, sản lượng mỗi giờ sẽ cao hơn 52% so với năm 1928. Thay vào đó, mức tăng trưởng thực tế từ năm 1928 đến năm 1950 là 99%.”^[38]

Tăng trưởng kinh tế đặt nhiều tiền hơn vào túi của người Mỹ. Nó cũng kích thích một sự chuyển đổi tâm lý. Đối với hầu hết mọi người, cuộc Đại Suy thoái mang màu sắc u ám, cam chịu và thậm chí là hãi hùng. Tỷ lệ tự sát nhảy từ 12 trên 100.000 người vào những năm 1920 đến gần 19 trên 100.000 vào năm 1929. Nó vẫn ở mức cao vào trước Thế Chiến II. Đến năm 1933, một phần tư dân số thất nghiệp. GDP giảm gần một nửa. “Tôi chứng kiến một phần ba dân số trong hoàn cảnh xấu số, không đủ ăn đủ mặc,” Franklin Roosevelt tuyên bố vào năm 1936 trong lễ nhậm chức thứ hai của mình. Thế Chiến II đã cứu nguy cho sự hứa hẹn kinh tế của Mỹ và giảm khoảng cách giàu nghèo. Nhìn lại từ ngày nay, khi bất bình đẳng giàu nghèo một lần nữa xuất hiện làm suy yếu tầng lớp lao động Mỹ, người ta

nhìn nhận Mỹ trong những thập niên giữa của thế kỷ 20 tỏa sáng như một miền đất hứa bình đẳng và sung túc.

Nhà kinh tế học Robert Higgs mô tả sự thay đổi trong tâm trạng người dân Mỹ:

Nền kinh tế thời chiến... đã đập tan những kỳ vọng bi quan của hầu hết mọi người trong thời kỳ suy thoái dường như vô tận. Trong suốt thập niên dài đằng đằng của thập niên 1930, đặc biệt là nửa sau của nó, nhiều người đã tin rằng bộ máy kinh tế đã bị phá vỡ không thể khắc phục. Các hoạt động điên cuồng của sản xuất thời chiến... bỗng xua tan sự vô vọng. Mọi người bắt đầu nghĩ: nếu chúng ta có thể sản xuất tất cả những chiếc máy bay, tàu và bom này, chúng ta cũng có thể sản xuất ra hàng hà sa số ô tô và tủ lạnh.^[39]

Trong những thập niên sau Thế Chiến II, người Mỹ bắt tay vào cải thiện cuộc sống vật chất và môi trường mà họ chung sống cùng. Nếu đường cong môi trường Kuznets là một mô hình hiệu quả, Mỹ và các xã hội công nghiệp tiên tiến khác đã vượt qua ngưỡng bảo đảm thu nhập sang khắc phục môi trường vào giữa những năm 1950. Ngay cả khi người Mỹ đã rất thịnh vượng, họ vẫn bắt đầu đặt câu hỏi liệu rằng tăng trưởng có phải là tốt?

KỶ NGUYÊN ĐEN TỐI PHÍA TRƯỚC

Rachel Carson bị bệnh nặng vì di căn ung thư vú khi bà viết tác phẩm *Silent spring* (Mùa xuân vắng lặng),⁽⁴¹⁾ cuốn sách xuất bản năm 1962 đã tạo tiếng vang với việc thành lập phong trào bảo vệ môi trường. Bà đã phải chịu đựng những tác động độc hại của hóa trị khi bà lên án tác động độc hại của thuốc trừ sâu đến thời tổ cáo rủi ro chết người của việc xạ trị.

Có phải cơ thể bà chính là thị trấn nhỏ thiên đường trong chương đầu tiên của nữ văn sĩ, “nơi đường như vạn vật sống hài hòa với môi trường xung quanh của nó”? Vậy từ đâu, “một dịch bệnh lạ lùng len lỏi trong khu vực và... khắp nơi bị phủ bóng đen của cái chết?”^[1] Nhà văn viết tốt nhất khi niền đam mê họ mang đến cho tác phẩm đến từ đời sống cá nhân. Thuốc trừ sâu, Carson đã cảnh báo trong một bài phát biểu vào mùa xuân trước khi cuốn sách của bà ra mắt vào tháng 9, “được đưa vào môi trường của chúng ta một cách nhanh chóng... Đơn giản là không có thời gian để nguyên sinh vật sống thích nghi với chúng.”^[2] Chưa đầy hai năm sau đó, bà qua đời, vào tháng 4 năm 1964. Phó tổng thống Mỹ Al Gore nói rằng nếu không có cuốn sách của nữ văn sĩ thì “phong trào môi trường có thể đã bị trì hoãn kéo dài hoặc không bao giờ phát triển lên được.”^[3]

Tuy nhiên, những cuốn sách khác vào thời điểm khác đã xướng tên ngày tận thế nhưng không gây được tiếng vang từ cộng đồng, không soi sáng các phong trào trong nước và quốc tế. Tại sao *Mùa xuân vắng lặng* lại thành công vang dội? Ai hoặc cái gì đã lót đường? Làm thế nào mà sự lạc quan thối bùng lên kỳ vọng ở Mỹ trong thập niên sau khi Thế Chiến II trở thành một sự bi quan bẻ gãy niền tin về tương lai của con người và sự hủy diệt của thế giới tự nhiên?

Một dự đoán của *Mùa xuân vắng lặng* là nghiên cứu của một nhà địa hóa học hạt nhân tên là Harrison Brown, con trai của một chủ trang trại ở

bang Wyoming và một người chơi dương cầm ở nhà thờ, một thành viên kỳ cựu của Dự án Manhattan và là giảng viên tại Caltech. Carson chưa bao giờ tham khảo nghiên cứu của Brown, một cuốn sách mang tên *The Challenge of Man's Future* (Thử thách cho tương lai nhân loại) xuất bản năm 1954. Tuy nhiên, những điều kiện mà nó khám phá liên quan đến những điều kiện làm phẫn lòng nhà văn Carson. Là nhà khoa học, họ làm việc trong các lĩnh vực liên quan. Cả hai đều có nhận thức sâu sắc về tương lai, về thảm họa quy mô thế giới nếu những cảnh báo của họ bị bỏ qua.

Sau khi hai quả bom nguyên tử mà Brown đã tham gia tạo ra dấu ấn kết thúc cuộc chiến tàn khốc nhất trong lịch sử loài người, nhà khoa học trẻ tuổi đã tham gia tăng cường giáo dục cộng đồng về những mối nguy hiểm mới của vũ khí hạt nhân. Bản thân Carson đã tìm thấy động lực để đi đầu tra hành vi “can thiệp” vào tự nhiên của loài người trong sự vỡ mộng mà bom hạt nhân mang lại. Trong lá thư gửi cho một người bạn, bà đã viết, “tôi nghĩ suy nghĩ của tôi bắt đầu bị ảnh hưởng ngay sau khi khoa học nguyên tử có chỗ đứng vững chắc... Những quan niệm cũ luôn đau đầu, đặc biệt là khi chúng mang đầy xúc cảm và minh tuệ cho bất kỳ ai. Thật dễ chịu khi tin rằng, giả dụ, phần lớn Thiên nhiên có thể mãi mãi nằm ngoài tầm với của con người.”^[4]

Thật khó cho người thời nay để đánh giá cao sự quan tâm trực tiếp mà những người nhạy cảm cảm thấy về tương lai của con người sau hậu quả của hai cuộc thế chiến, khi chúng gây ra cái chết đau đớn của ít nhất 80 triệu nhân mạng. Nhiêu năm sau, phỏng vấn nhà vật lý Richard Feynman, tôi đã hỏi ông về khoảng thời gian đó. (Lúc đó tôi không biết chuyện người vợ yêu dấu của Feynman, Arline, đã qua đời vì bệnh lao vào tháng 6 năm 1945, hai tháng trước khi chiến tranh kết thúc, hay về sự đau buồn khôn cùng sẽ nuốt chửng ông. Giai đoạn này trong cuộc đời ông lúc đó vẫn chưa được tiết lộ.) Feynman nói với tác giả rằng ông đã ngồi trong quán bar Times Square vào một ngày mùa hè năm 1946, nhìn qua các cửa sổ tối tăm vào đám đông đi qua. “Tôi thẫn thờ,” ông nói, “Lũ ngốc này. Họ đang ở đây, bận rộn với cuộc sống, không biết rằng trong vài năm nữa, tất cả đều sẽ chết.”

Hiển nhiên là cái chết của người vợ thân yêu đã tác động tiêu cực đến thế giới quan của Feynman. Nhưng giống như nhiều người khác trong thời kỳ chuyển đổi sau chiến tranh, ông tin rằng Liên Xô sẽ phát triển kho vũ

khí hạt nhân giống như Mỹ đang làm, tạo ra một cuộc chạy đua vũ trang sẽ xảy ra sau đó sẽ lên đến đỉnh điểm trong một cuộc chiến tranh tàn phá hoàn toàn thế giới. Sau khi khóc thương vợ, Feynman đã có thể tạm gác lại thuyết định mệnh của mình, bắt đầu một lần nữa để chơi mà làm, và trong vui chơi đã làm sống lại sự nhiệt tình của ông với cuộc sống và cho công việc sáng tạo.

Tuy nhiên, thuyết định mệnh dường như là nền tảng cho sự chuyển đổi hồi hải sau chiến tranh khi các cựu chiến binh trở về nhà, định cư và bắt đầu xây dựng cuộc sống của họ. Đáng chú ý là ít người trong số họ thừa nhận đã trải qua sang chấn tâm lý trong trải nghiệm chiến tranh, mặc dù hầu hết đã bị tổn thương như vậy trong nhiều năm. Thay vì thừa nhận, họ chôn vùi nó và làm giảm các triệu chứng với thuốc lá, uống rượu, và ép mình làm việc quá sức. Nhiều người trong số họ chỉ tìm kiếm sự giúp đỡ khi đã nghỉ hưu nhiều thập niên sau này, khi họ không còn có thể duy trì vẻ ngoài kiên cường, cứng rắn của người lính nữa.^[5]

Trong một tâm trí mù quáng như vậy, chẳng khó để tin rằng bản thân thế giới quanh họ đã bị nhiễm bệnh. Đối với Rachel Carson, phóng xạ và chất độc vật lý gây ra sự nhiễm trùng. Đối với Harrison Brown và những người theo lý tưởng của Thomas Malthus thì con người chính là kẻ đe dọa tương lai thế giới. John Holdren, cố vấn khoa học của Tổng thống Barack Obama, đã mô tả Brown trong điều văn là “một người đàn ông ấm áp, dí dỏm, vui vẻ, trong mắt ông luôn hấp háy ánh sáng tình yêu cuộc sống, và đáng ngạc nhiên nhất là sự khiêm tốn của ông.”^[6] Dù sống tích cực là vậy nhưng tầm nhìn về tương lai của ông đã bị bôi đen với thuyết phản nhân văn⁽⁴²⁾.

Trong cuốn *Thử thách cho tương lai nhân loại*, Brown đã viết rằng phần lớn nhân loại hành xử như thể nó “sẽ không thỏa mãn cho đến khi Trái đất bị bao phủ hoàn toàn và đến một độ sâu đáng kể bằng một khối người quần quai, giống như xác chết phủ đầy giòi.”^[7] Với sự chọn lọc do thừa dân số, Brown tuyên bố, để ngăn chặn những gì ông gọi là “sự suy thoái lâu dài của nòi giống con người,” cần hạn chế “nuôi lớn những người có khuyết tật nguy hiểm một cách rõ rệt đối với xã hội và cả những gì thuộc về bản chất di truyền.” Ví dụ, ông tiếp tục:

Chúng ta có thể triệt sản hoặc bằng những cách khác ngăn cản sự giao phối của những kẻ có đầu óc yếu đuối. Chúng ta có thể tiến xa hơn và cố gắng một cách có hệ thống để cắt tủy chúng khỏi xã hội, bằng cách ngăn cản họ sinh sản, những người có các vấn đề di truyền nghiêm trọng gây khuyết tật về thể chất, chẳng hạn như điếc bẩm sinh, câm, mù hoặc cụt chân tay... Thật không may, kiến thức về di truyền của con người là quá ít ỏi ở thời điểm hiện tại để cho phép anh ta trở thành một người cắt tủy thực sự thành công.^[8]

Brown kết luận, việc “cắt tủy” giống nòi có thể được thực hiện theo hai cách: không khuyến khích những người không “phù hợp” sinh đẻ, và khuyến khích những cá nhân đã vượt qua bài kiểm tra thể chất và tinh thần và có tổ tiên khỏe mạnh sinh con đẻ cái. Có những phương pháp triệt đẻ hơn trong việc cắt tủy những đi đầu không mong muốn, Brown ám chỉ, chỉ một thập niên sau việc diệt chủng người Do Thái của Đức Quốc xã, nhưng ông ngờ rằng những phương pháp đó “có lẽ không thể chấp nhận được đối với nhiều người trong chúng ta ngày nay.”^[9]

Nếu lời mời gọi thanh lọc chủng tộc và khuyết tật này tương đồng với sự nguy khoa học của Đức Quốc xã thì nó có dụng ý rõ ràng: có một liên kết trực tiếp giữa phong trào ưu sinh học chính thống đã truyền cảm hứng cho Adolf Hitler và các tổ chức ưu sinh học sau chiến tranh tán thành những cơn ác mộng của Malthus về một sự “bùng nổ dân số.” Việc liên theo liên kết đó một cách chi tiết nằm ngoài phạm vi của cuốn sách này nhưng một số học giả đã làm như vậy, bao gồm Robert Zubrin trong nghiên cứu năm 2013 của ông *Merchants of Despair: Radical Environmentalists, Criminal PseudoScientists, and the Fatal Cult of Antihumanism* (Thương nhân của sự tuyệt vọng: Các nhà môi trường cấp tiến, giới nguy khoa học, và sự sùng bái chí mạng của chủ nghĩa phi nhân loại), Pierre Desrochers và Christine Hoffbauer trong một bài báo dài năm 2009 với tiêu đề *The Postwar Intellectual Roots of the Population Bomb* (Gốc rễ học thuật thời hậu chiến của quả bom dân số).^[10]

Thomas Malthus, nhà kinh tế học nguyên sinh người Anh thế kỷ 18, nổi danh với việc cắt tủy dân số, đã từng có đề xuất khét tiếng:

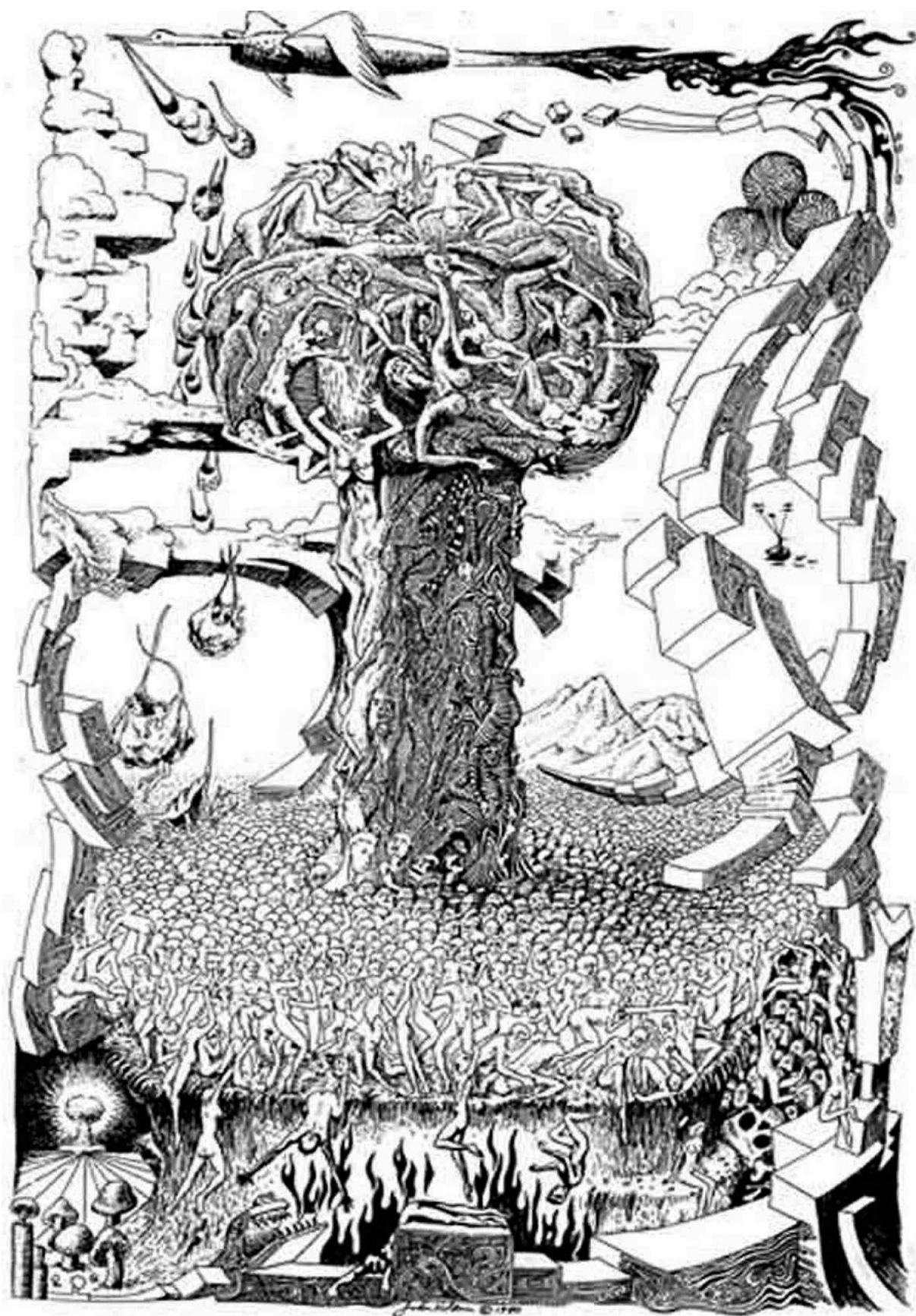
Thay vì khuyến nghị sự sạch sẽ cho người nghèo, chúng ta nên khuyến khích những thói quen ngược lại. Trong thị trấn của chúng ta, chúng ta nên làm cho đường phố hẹp hơn, nhốt người vào nhà, và cầu xin bệnh dịch quay trở lại. Trong nước, chúng ta nên xây dựng các ngôi làng gần các hồ nước tù đọng, và đặc biệt khuyến khích các khu dân cư trong các địa hình đầm lầy và bãi lầy. Nhưng trên hết, chúng ta nên thoái thác các phương thuốc đặc trị cho các bệnh hiểm nghèo, và cho những người tốt bụng, nhưng lảm nhảm, những người đã nghĩ rằng họ đang làm việc tốt cho nhân loại bằng cách lập các kế hoạch cho sự tuyệt chủng của các chứng rối loạn di truyền.^[11]

Một sự khinh bỉ xác xược dành cho nhân loại thấm đẫm trong các nghiên cứu của con người cao cao tại thượng này. Công trình được tìm đọc phổ biến rộng rãi nhất cho luận giải của nhân vật thuộc phái Malthus, là tác phẩm của nhà côn trùng học Paul R. Ehrlich, *The Population Bomb* (Quả bom dân số), do Câu lạc bộ Sierra đặt viết vào năm 1967, mở đầu với việc gia đình Ehrlich bị sốc văn hóa rồi trở nên hoảng loạn trong “một đêm nóng bức hồi thối ở Delhi một vài năm trước đây”:

Vợ và con gái tôi và tôi trở về khách sạn bằng một chiếc taxi cũ. Băng ghế tung tăng lũ bộ chết... Nhiệt độ cũng trên 38 độ, và không khí là một màn sương khói bụi. Đường phố dường như sống cùng người dân. Mọi người ăn, tắm rửa, ngủ, rong chơi, tranh luận và la hét. Mọi người thọc tay qua cửa sổ taxi và ăn xin. Mọi người đại tiện và tiểu tiện... Khi chúng tôi di chuyển chậm chạp qua đám đông, còi xe réo oang oang, bụi bặm, tiếng ồn, nhiệt độ nóng điên đảo, và lửa bếp ăn đã làm cho cảnh tượng trông như một địa ngục trần gian. Chúng tôi liệu có đến được khách sạn hay không? Cả ba chúng tôi, thẳng thắn là đầu sợ hãi. Dường như chuyện gì cũng có thể xảy ra - nhưng tất nhiên, chẳng xảy ra gì cả. Ấn Độ cổ kính sẽ chế cười phản ứng của chúng tôi. Chúng tôi chỉ là một số khách du lịch thừa đi đầu kiện đốt tiều trong mắt họ, không quen thuộc với các cảnh quan và nhịp đập của Ấn Độ. Có lẽ vậy, nhưng kể từ đêm đó, tôi đã biết cảm giác của quá tải dân số.^[12]

Dường như chuyện gì cũng có thể xảy ra - nhưng tất nhiên, chẳng xảy ra gì cả. Cuộc sống đường phố Delhi đem lại cảm nghĩ gì cho những người bản địa - “đường phố sống cùng người dân” - rõ ràng không khiến Ehrlich bận tâm. Trong *Quả bom dân số*, thảo luận về “tấn bi kịch cuối

cùng” - “những quốc gia bị bỏ lại phía sau trong cuộc chơi thực phẩm và dân số mà không có hi vọng rằng viện trợ thực phẩm [từ Mỹ] sẽ hỗ trợ cho họ đến khi có thể tự cung tự cấp đầy đủ” - khuyến nghị rằng Ấn Độ “không nên nhận thêm lương thực.” Ehrlich khuyên nên bỏ đói Ấn Độ, kết quả mà chí ít thì ông cũng tin rằng không thể tránh khỏi.^[13]



Tác phẩm “Quả bom dân số” kết hợp hình ảnh loài người sống nhúc nhúc với sức tàn phá của một đám mây nấm hạt nhân đặc trưng.

Bác sĩ kiêm nhà địa lý người Brazil Josue de Castro khi viết từ một thập niên trước đó về tình trạng đông dân và thiếu đói của Nam Mỹ đã bày tỏ sự không hài lòng với sự bàng quan nguy hiểm chết người như vậy. Ông lên án thái độ kiêu cao cao tại thượng của Ehrlich trong tác phẩm kinh điển *The Geography of Hunger* (Địa lý về cái đói). “Học thuyết Malthus mới của một nền kinh tế phi nhân tính,” de Castro viết, “thuyết giảng rằng những người yếu đuối và bệnh tật nên để cho chết, đi đâu đó sẽ giúp người thiếu ăn chết nhanh hơn, và thậm chí còn cực đoan đến mức cho rằng tài nguyên y tế và vệ sinh không nên được cung cấp cho những người dân khốn khổ hơn - những chính sách như vậy chỉ đơn thuần là tấm gương phản chiếu ý nghĩ hằn học và sự tự cao tự đại của những người sống tốt, kinh hoàng trước sự hiện diện của những mảnh đời khổ sở.”^[14]

Viễn cảnh đường phố làm cho những người như Ehrlich kinh sợ từ đầu những năm 1960 vẫn có thể được trải nghiệm lại ở Delhi ngày nay. Sự khác biệt là ngày nay, ở phía bên kia của Cách mạng Xanh, Ấn Độ, Trung Quốc và các nước khác mà Ehrlich đã đặt dấu chấm hết nay đang sản xuất thặng dư lương thực bất chấp gánh nặng dân số đông hơn nhiều, vậy nhưng tình trạng mất an ninh lương thực tiếp tục là một vấn đề dai dẳng. Như hầu hết các lời tiên tri sai lầm, câu trả lời của Ehrlich cho những dự đoán của ông về thảm họa là dời ngày tận thế của thế giới thêm một vài thập niên nữa. Hiện ông đã dời mốc này tới năm 2050. Tận thế vẫn không gần kề, nhưng Ehrlich, tám mươi sáu tuổi vào năm 2018, vẫn chắc chắn rằng nó đang đến.

Những người ủng hộ thế giới nhỏ, không tăng trưởng dân số, sử dụng năng lượng sạch của phong trào môi trường xuất hiện trong những năm 1960 và 1970 đã biết kết hợp một cách có dụng ý hoặc vô tình hệ tư tưởng phản nhân văn tân Malthus trong các lập luận của mình. Hệ tư tưởng đó hỗ trợ, thậm chí là vạch rõ lập trường trái ngược về năng lượng hạt nhân. David Brower, chủ tịch có ảnh hưởng của Câu lạc bộ Sierra California, đã nói thẳng về sự thù địch với việc mở rộng sản xuất năng lượng. “Nhiều nhà máy điện sẽ tạo ra nhiều ngành công nghiệp hơn,” ông trách móc trong một cuộc họp hội đồng Câu lạc bộ Sierra vào năm 1966; “thêm nhà máy cũng sẽ mời gọi tỉ lệ tập trung dân cư lớn hơn. Nếu dân số bang tăng gấp đôi trong 20 năm tới được khuyến khích bằng cách cung cấp năng lượng

cho họ thì danh lam thắng cảnh tự nhiên của bang sẽ bị triệt tiêu.”^[15] Trong một cuộc chạy đua giữa con người và cảnh quan, Brower đã rõ ràng về lập trường của bản thân. Vị chủ tịch này không gộp bản thân mình vào hàng ngũ những người được nêu.

Chỉ riêng sự khuyến khích của chính phủ vẫn chưa đủ để đưa ngành kỹ thuật hạ tầng chuyển hướng sang năng lượng hạt nhân trong những năm sau khi bắt đầu chương trình Nguyên tử vì Hòa bình của Tổng thống Eisenhower. Nhà máy điện hạt nhân Shippingport đi vào phục vụ sản xuất vào năm 1957. Nhiêu cuộc biểu tình phản đối các lò phản ứng tương tự nổ ra ở những nơi khác. Năm 1958, Ủy ban Năng lượng Nguyên tử đã hỗ trợ sự phát triển của không dưới 11 loại lò phản ứng khác nhau, trong đó lò phản ứng nước áp lực (PWR) và lò phản ứng nước sôi (BWR) là các thiết kế vượt trội nhất.^[16] Nhưng ngành kỹ thuật hạ tầng vẫn kiên quyết đứng ngoài do các lò phản ứng hạt nhân vẫn có giá thành quá cao để cạnh tranh với nhà máy nhiệt điện đốt than.

General Electric (GE) buộc phải tạo ra đột phá. Công ty đã phát triển một lò phản ứng nước sôi song song với lò phản ứng nước áp lực của Westinghouse. Một lò phản ứng nước sôi hoạt động ở nhiệt độ và áp suất bình thường, đơn giản hóa thiết kế của nó và làm cho nó ít tốn kém hơn nhiều. Cuối năm 1963, GE đã ký hợp đồng giá cố định với công ty Jersey Central Power and Light để cung cấp một hợp đồng trọn gói sản lượng 515 megawatt tại Oyster Creek, New Jersey, hơn 130 km phía nam Thành phố New York trên bờ biển New Jersey.

Đây là hợp đồng đầu tiên trong số 12 hợp đồng trọn gói mà GE và Westinghouse sẽ bán trong ba năm tới và họ sẽ mất gần một tỉ đô-la.

“Chỉ những kẻ có niềm tin cực đoan về tiến bộ công nghệ trong tương lai,” nhà xã hội học James M. Jasper viết, “mới có thể cho phép đi đầu này [thua lỗ] xảy ra.”^[17] Sự kiêu căng đó xuất phát một phần từ thiếu kinh nghiệm. Cả hai công ty đã thuê CEO mới vào năm 1963, một người từng là nhân viên bán bóng đèn, người kia là nhà phân tích tài chính. Cả hai công ty đã là đối thủ cạnh tranh kể từ thời Thomas Edison và George Westinghouse. Cả hai CEO đều muốn thể hiện khả năng lãnh đạo của mình. Từ năm 1963 trở đi, họ đưa ra các lò phản ứng bán câu khách, hi vọng chi phí giảm rồi sẽ có lãi, từ đó ra đời một hiệu ứng trong thị trường mà Philip Sporn đặt tên là “hiệu ứng ăn theo.” Sporn nói với Quốc hội vào năm 1967

rằng “hiệu ứng ăn theo” là kết quả từ việc nhiều công ty kỹ thuật hạ tầng đã đổ xô giành phần đặt hàng nhà máy điện hạt nhân, thường trên cơ sở chỉ phân tích mơ hồ và vì mong muốn được bắt đầu kinh doanh năng lượng hạt nhân.”^[18] Giám đốc điều hành của các doanh nghiệp này thường quyết định đầu tư vào năng lượng hạt nhân sau khi đàm đạo với các giám đốc khác trên sân golf, Ủy ban Năng lượng Nguyên tử đã không tập trung vào an toàn cho lò phản ứng trong những năm phát triển thiết kế những năm 1950. Các công ty kỹ thuật hạ tầng cũng bỏ qua đi đầu đó trong những năm 1960. Từ năm 1965 đến năm 1970, các công ty này của Mỹ đã đặt hàng cho 100 lò phản ứng. Đoàn tàu ăn theo cứ thế lăn bánh.

Những người ủng hộ điện hạt nhân đã phản ứng với thuyết Malthus mới trong những năm 1950 và 1960 với lập luận rằng năng lượng nguyên tử có thể giải quyết bài toán khó khi tăng trưởng dân số vượt xa tài nguyên thiên nhiên. Người phát ngôn nổi bật nhất cho quan điểm vận động này là Alvin Weinberg, một nhà vật lý hạt nhân làm việc trong Dự án Manhattan và lãnh đạo Viện thí nghiệm Quốc gia Oak Ridge ở Tennessee suốt 25 năm sau chiến tranh.

Weinberg là người có tâm tưởng muốn làm đáng cứu thế, đã nói và chứng minh rộng rãi xuyên suốt sự nghiệp lâu dài của mình. Tầm nhìn lớn về năng lượng hạt nhân của ông cũng mở cửa cho những lời chỉ trích rằng ông và các kỹ thuật viên đồng nghiệp, theo lời của Weinberg, “đã đánh giá quá cao lợi ích và đánh giá thấp những rủi ro của các phát minh mới của họ.” Weinberg tranh luận ngược lại rằng các nhà phê bình công nghệ mới là kẻ mắc lỗi ngược mà chính họ đang cáo buộc các nhà công nghệ như ông: *đánh giá thấp* kết quả gián tiếp, các lợi ích rộng hơn của con người mà xã hội gặt hái được từ các công nghệ mới. Các nhà phê bình thích tưởng tượng rằng có rất ít lợi ích quy mô lớn từ năng lượng hạt nhân; rằng lợi ích chính của nó là cổ tức cao hơn cho các đại gia hạ tầng kỹ thuật và lợi nhuận cho các nhà sản xuất lò phản ứng. Thực tế, Weinberg nhấn mạnh, là khác xa.^[19]

Weinberg đã đưa ra tuyên bố đó vào năm 1970 khi thách thức đang được quan tâm mổ xẻ trên khắp nước Mỹ là nỗi sợ hãi của tín đồ thuyết Malthus mới về dân số quá mức với tài nguyên cạn kiệt. Ông trình bày lập luận của mình cho lợi ích phi thị trường trong bối cảnh đó. Khi làm như vậy, ông đã tin tưởng tuyệt đối rằng thách thức dân số là có thật. Ước tính

trung bình của Liên Hợp Quốc cho tăng trưởng dân số thế giới vào năm 2030, ông lưu ý, là mười tỉ (con số mà năm 2017 Liên Hợp Quốc đã sửa lại, phải tới năm 2100 mới đạt đến).^[20] Năm 1970, nay đã tin vào thuyết Malthus, Weinberg vẽ ra bối cảnh dân số thế giới sẽ cán mốc 18 tỉ vào năm 2050.^[21] Không có chuyên gia có thẩm quyền nào dám đưa ra mức tăng dân số như vậy ngày nay - tăng gấp gần 2,5 lần con số thực tế năm 2017 là 7,5 tỉ người. Nguyên nhân của sai lệch này là vì quá trình chuyển đổi nhân khẩu học từ tỉ lệ sinh cao sang tỉ lệ sinh thấp hơn theo sau sự thịnh vượng ngày càng tăng trên toàn thế giới ngày nay. Liên Hợp Quốc dự báo mười tỉ người vào năm 2100 nhưng cũng dự báo *tốc độ* tăng trưởng sẽ giảm xuống 0% sau đó và tăng trưởng dân số thế giới sẽ chấm dứt.^[22]

Nhưng bất kể dân số thế giới là bao nhiêu, Weinberg lập luận vào năm 1970 rằng năng lượng hạt nhân có thể giúp ngăn ngừa thảm họa dân số. Nó có thể làm như vậy không chỉ nhờ sản xuất điện giá rẻ, sạch. Nó có thể làm như vậy bằng cách khử muối trong nước biển và tách nước để tạo ra hydro làm nhiên liệu cho vận chuyển và công nghiệp. “Nếu chúng ta có hydro,” ông viết, “chúng ta có thể giảm kim loại trong quặng; chúng ta có thể hydro hóa than [để tạo ra nhiên liệu lỏng]; chúng ta có thể sản xuất amoniac cho nông nghiệp.”^[23] Giai đoạn đầu tiên trong quy trình Weinberg đã hình dung về chống lại thảm họa dân số bằng năng lượng hạt nhân sẽ sử dụng những gì mà vị giám đốc Oak Ridge gọi là “lò đốt hạt nhân xúc tác,” hay ngày nay còn gọi là lò phản ứng hạt nhân tái sinh. Nó sẽ phân hạch uranium hoặc thorium để lấy năng lượng trong khi sinh ra plutonium, uranium 233 hoặc tritium. Những nhiên liệu đó sau đó sẽ tạo ra năng lượng thông qua phản ứng phân hạch hoặc nhiệt hạch, đương nhiên với điều kiện là thứ công nghệ phức tạp đó cuối cùng đã được làm chủ.

Những viễn cảnh lạc quan này phụ thuộc vào chi phí sản xuất năng lượng, Weinberg hiểu rõ điều đó. Ông ước tính rằng chi phí sẽ cạnh tranh được với các nguồn năng lượng khác, nhưng đó là ước tính của giai đoạn đầu kỷ nguyên năng lượng hạt nhân. Ông chưa gặp phải sự phản đối của các nhà hoạt động môi trường đã bắt đầu chĩa mũi dùi vào công nghiệp hạt nhân. Ông chưa có cơ hội để quan sát hiệu ứng suy thoái một chiều từ việc thắt chặt các quy định của chính phủ do lo ngại cả tai nạn hạt nhân thực tế và giả định bị cường điệu hóa. Nó sẽ tác động làm tăng chi phí vốn mà không nhất thiết đem lại cải thiện cho sự an toàn. Tổng thống Jimmy

Carter chưa chính thức cấm cửa xử lý dầu mỏ, như ông sẽ làm vào năm 1977, chuyển hướng chính sách hạt nhân khỏi việc phát triển lò phản ứng hạt nhân.

Từ những chia sẻ trực tiếp của Tổng thống Carter, quan điểm dè chừng về năng lượng hạt nhân của ông bắt nguồn từ kinh nghiệm cá nhân. Năm 1952, vị tổng thống tương lai này là một trung úy hải quân Mỹ với kinh nghiệm điều khiển tàu ngầm, đóng quân tại General Electric ở Schenectady, New York, được đào tạo về kỹ thuật hạt nhân dưới thời Hyman Rickover. Tháng 12 năm đó một lò phản ứng 30 megawatt làm chậm bằng nước nặng và làm mát bằng nước nhẹ của Canada ở Chalk River, Ontario, đã gặp phải phản ứng vượt hạn, bùng phát công suất đến 100 megawatt rồi phát nổ và tan chảy một phần. Đó là tai nạn lò phản ứng đầu tiên trên thế giới, hậu quả của một lỗi hỏng thiết kế cơ bản cũng sẽ phá hủy một lò phản ứng Chernobyl của Liên Xô ba thập niên sau đó. Do Carter từng có quy định hạn làm việc với các lò phản ứng hạt nhân, hồi đó vẫn được phân loại là bí mật quân sự, ông và 22 nhân viên hải quân được chỉ định đặc biệt khác đã đến Ontario đầu năm 1953 để giúp tháo dỡ lò phản ứng bị hủy hoại. Bởi vì nó là chất phóng xạ, thời gian phơi nhiễm tối đa xung quanh cấu trúc bị hư hại được tính toán là chỉ trong 90 giây. Sự tiếp xúc đó được dựa trên xác định liều lượng phóng xạ tối đa hàng năm cho một công nhân thời đó: 15 rem.⁽⁴³⁾ Hơn 1.000 đàn ông và hai phụ nữ, hầu hết trong số họ là nhân viên lò phản ứng, đã tham gia dọn dẹp khu vực thảm họa.^[24]

Người Canada đã xây dựng một lò phản ứng mô hình trong sân tennis của phòng thí nghiệm để các đội dọn dẹp có thể huấn luyện. “Một đội gồm ba người chúng tôi luyện tập nhiều lần trong lò mô hình,” Tổng thống Carter viết, “để chắc chắn rằng chúng tôi dùng đúng công cụ và biết chính xác làm thế nào để sử dụng chúng. Cuối cùng, được trang bị quần áo bảo vệ trắng, chúng tôi xuống lò phản ứng và làm việc điên cuồng theo phân bổ thời gian định trước.” Đến giây thứ 89, họ trèo ra và lao ra ngoài, và một đội khác thay thế họ.

“Mỗi khi người của chúng tôi tháo xong một bu lông hay khớp nối từ lõi,” Carter viết, “những mảnh tương đương sẽ được tháo bỏ trên mô hình.” Trong nhiều tháng sau, vị tổng thống tương lai nhớ lại, ông và người của mình được yêu cầu gửi mẫu nước tiểu và phân để theo dõi mức độ phơi nhiễm phóng xạ. “Không có hậu quả rõ ràng nào từ lần tiếp xúc

này,” Carter kết luận, “chỉ có những trò đùa tiêu lâm giữa chúng tôi về cái chết hay bị vô sinh.”^[25]

Nếu biết về kết quả lâu dài của việc phơi nhiễm bức xạ ở Chalk River, Carter hẳn sẽ cảm thấy thân thiện hơn với năng lượng hạt nhân. Một nghiên cứu kéo dài 30 năm, được xuất bản năm 1982, cho thấy nhân viên phòng thí nghiệm tiếp xúc trong thời gian dọn dẹp lò phản ứng “sống thêm trung bình một năm hoặc lâu hơn dự kiến so với với tuổi thọ dân số chung của Ontario.” Không có ai chết vì bệnh bạch cầu, một căn bệnh kinh điển của việc tiếp xúc với bức xạ nghiêm trọng. Số người chết vì ung thư thấp hơn trong dân số nói chung. Người ta rí tai rằng kết quả nghiên cứu đã chỉ ra tỉ lệ tử vong giảm sau khi phơi nhiễm bức xạ là do hiệu ứng người lao động khỏe mạnh. Hiệu ứng đó, một hình thức lựa chọn thiên vị, là kết quả từ việc người lao động khỏe mạnh hơn dân số nói chung - đủ sức khỏe để làm việc nói chung. Tuy nhiên trong nghiên cứu ở Chalk River, tỉ lệ tử vong do ung thư phổi (có thể do hút thuốc lá) và do bệnh về tim mạch là cao hơn trong những người bị phơi nhiễm so với dân cư Ontario nói chung. Nếu áp dụng hiệu ứng công nhân khỏe mạnh, thì hiện tượng giảm tỉ lệ tử vong của công nhân phơi nhiễm bức xạ lại càng đáng chú ý hơn.^[26]

Nỗi sợ hãi bức xạ và sự hiểu lầm về tác động của nó là những sự tác động mạnh mẽ tới tâm lý chống hạt nhân. Các nhà hoạt động môi trường khuyến khích tâm lý này trong nhiều năm qua với tuyên bố rằng chỉ một tai nạn rò rỉ hạt nhân sẽ phá hủy một khu vực bằng “kích thước của bang Pennsylvania” (Ralph Nader) hoặc rằng “gần một triệu” người đã thiệt mạng vì bụi phóng xạ Chernobyl (Helen Caldicott, bác sĩ người Úc).^[27] Ngả theo những tuyên bố của giới cực đoan, Mỹ trong những năm 1950 đã áp dụng một mô hình an toàn phóng xạ đầy sai sót, khiến cho sự an toàn bức xạ chuẩn chỉnh dường như là điều không tưởng. Làm thế nào mà tiêu chuẩn đó được thông qua là một câu chuyện đáng xấu hổ bắt nguồn từ sự ngớ ngẩn của giới khoa học nếu không muốn nói là hành vi sai trái, và cũng từ những ý định tốt đẹp dần trở nên sai lầm.

Trong hồi chuông báo động sau cuộc thử nghiệm bom nguyên tử đầu tiên của Liên Xô vào tháng 8 năm 1949, Mỹ tăng tốc nỗ lực tích lũy kho vũ khí hạt nhân. Giữa năm 1946 và năm 1958, Mỹ đã thử nghiệm không dưới 193 vũ khí nguyên tử và bom khinh khí, tất cả đã phát nổ trong bầu khí quyển trên đảo san hô Bikini và các khu vực khác ở phía tây Thái Bình

Dương phía đông bắc Papua New Guinea hoặc phía bắc Las Vegas tại Yucca Flats, Nevada.

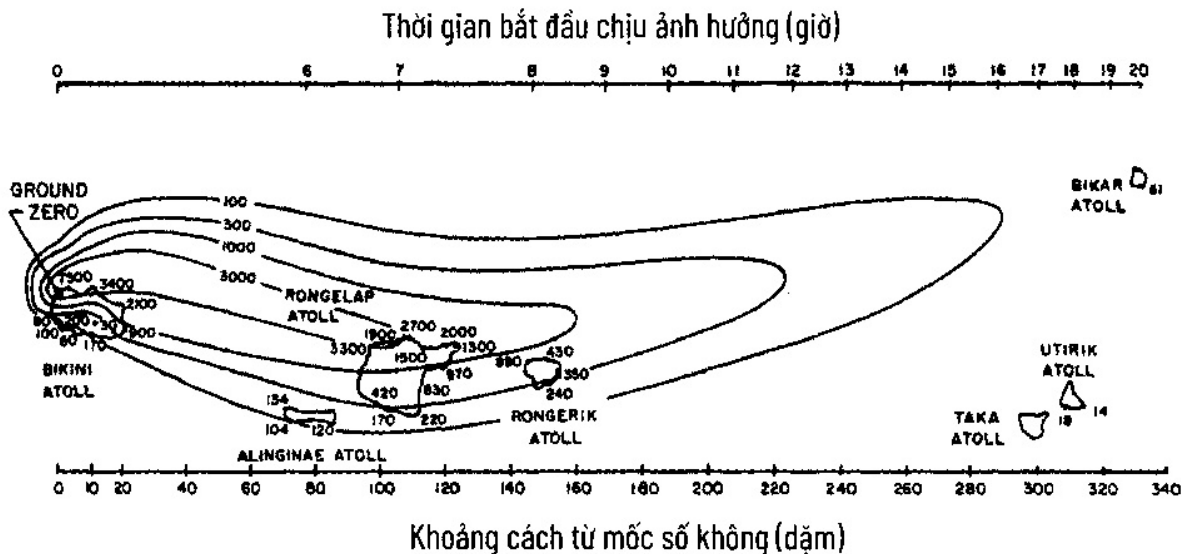


Bom Tôm trong vỏ đạn, sẵn sàng để kích nổ. Thiết bị dài 4,7 mét và có đường kính 1,3 mét. Các ống kéo dài từ thân nó là các ống theo dõi.

Trong cùng thời gian, Liên Xô đã thử nghiệm 86 vũ khí như vậy trên bãi thử tại Semipalatinsk, Kazakhstan hoặc trên hòn đảo Novaya Zemlya ở Bắc Băng Dương phía bắc Nga. Chất phóng xạ từ nhiều thử nghiệm này phát tán khắp thế giới. Một sản phẩm đặc biệt rơi ra, strontium-90, mà cơ thể hấp thụ như canxi và tích tụ trong xương, khiến các bà mẹ sợ hãi khi nó bắt đầu xuất hiện trong sữa mẹ.

Mỹ đã tiến hành thử nghiệm vũ khí khét tiếng nhất, Castle Bravo, tại đảo Bikini vào ngày 1 tháng 3 năm 1954. Bravo là thử nghiệm đầu tiên của một loại bom khinh khí “khô” mới mang tên Tôm (Shrimp), được cung cấp nhiên liệu lithium deuteride rắn chứ không phải là deuterium lỏng làm lạnh được sử dụng trong thử nghiệm đầu tiên của thiết bị nhiệt hạch tên là Mike I vào ngày 1 tháng 11 năm 1952. Bom khô nhẹ hơn nhiều nên sẽ dễ dàng đưa lên máy bay ném bom của Mỹ. (Mike, một thí nghiệm hơn là một vũ khí, nặng 82 tấn; Tôm, chỉ nặng có 10,5 tấn.) Lithium deuteride trong thiết

bị Tôm sẽ tự tạo ra hydro bằng cách biến đổi lithium thành một đồng vị hydro, tritium, ngay lập tức sau khi phát nổ.



Phóng xạ từ thử nghiệm Castle Bravo phát tán ra xa khỏi địa điểm thử nghiệm cũng như ra toàn thế giới. Đường viền có số chỉ mức rem của bức xạ. (Phơi nhiễm từ 500 trở lên trong một thời gian ngắn mà không có sự can thiệp y tế thường sẽ gây tử vong.)

Nhưng là một trong những nhà vật lý của dự án Castle, Harold Agnew, đã nói với tác giả sau này, các nhà thiết kế đã không nhận ra một trong hai đồng vị của lithium trong nhiên liệu của Tôm, Li-7, sẽ phản ứng. Họ đã tin rằng Li-7, đại diện cho 60% lượng lithium của Bravo, về cơ bản sẽ bị trơ trong các điều kiện thử nghiệm. Trên thực tế nó phản ứng mạnh mẽ như 40% lượng Li-6, khiến vụ nổ lớn gấp ba lần dự kiến, từ 5 megatons trở thành 15 megatons - nghĩa là từ 5 thành 15 *triệu* tấn TNT tương đương.

Bravo phát nổ thành một quả cầu lửa đường kính 7 km, làm bốc hơi một miệng hố sâu 76 mét và rộng hơn 1,6 km dưới đáy đại dương và phát tán bụi phóng xạ nguy hiểm trên khắp hơn 18.000 km² của Thái Bình Dương. Bên cạnh việc khiến dân đảo Thái Bình Dương phải di dời tránh phơi nhiễm, 23 thành viên thủy thủ đoàn của tàu đánh cá Nhật Bản *Lucky Dragon*, hoạt động bên ngoài khu vực thử nghiệm được chỉ định, đã phơi nhiễm bụi phóng xạ và nhiễm phóng xạ cấp tính. Một thành viên thủy thủ đoàn cuối cùng đã thiệt mạng. Quốc tế đã phẫn nộ khi đám mây phóng xạ len lỏi vào luồng gió xoáy khí quyển và phát tán ra khắp thế giới.

Chủ tịch ủy ban Năng lượng nguyên tử Mỹ tại thời điểm vụ tai nạn Bravo xảy ra là một nhà đầu tư tài chính giàu có ở Phố Wall và đô đốc của Cục Dự trữ Hải quân, tên là Lewis Strauss, một quan chức chính trị kiêu ngạo và đầy thù hận được Eisenhower chỉ định. Phản ứng ngay lập tức của Strauss là chối bỏ trách nhiệm một cách lạnh lùng với thảm họa hạt nhân. Ông ta tuyên bố tại một cuộc họp báo ở Washington vào ngày 31 tháng 3 rằng Bravo “là một vụ nổ rất lớn, nhưng cuộc thử nghiệm luôn trong tầm kiểm soát.” Tai nạn với tàu *Lucky Dragon*, ông khẳng định, “xảy ra chắc chắn là do tàu đánh cá đã xâm nhập trái phép vào khu vực đã cảnh báo nguy hiểm.”^[28] (Khi ở một mình thì ông nói riêng với người phát ngôn của Eisenhower rằng tàu cá có lẽ là một tàu gián điệp của Liên Xô.^[29]) Strauss tiếp tục tuyên bố rằng mức độ phơi nhiễm phóng xạ - Strauss còn gọi sai tên nó là “thảm họa thiên nhiên” - còn ít hơn so với nồng độ phóng xạ được đo từ một số thử nghiệm trước đó và “thấp hơn nhiều so với mức có thể gây hại cho con người.” Các tuyên bố đó rõ ràng là sai sự thật đối với người dân đảo Bikini và thuyền viên xấu số trên tàu *Lucky Dragon*.

Một trong những người tiên phong của ngành di truyền học hiện đại, Alfred H. Sturtevant, một giáo sư tại Caltech, đã phản bác công khai các tuyên bố sai sự thật của Strauss. Là con trai của một nhà toán học đại học đã từ bỏ giảng dạy sang làm nông nghiệp ở miền Nam Alabama, Sturtevant đã phát hiện ra bản đồ gen trong khi vẫn còn là sinh viên đại học tại Đại học Columbia. Công trình đó, bắt đầu vào năm 1911 và được xuất bản năm 1913, đã cho ông một vị trí nghiên cứu trong dự án “phòng thí nghiệm ruồi” nổi tiếng tại Đại học Columbia, nơi ruồi giấm - tên khoa học là *Drosophila melanogaster* - trở thành một sinh vật mẫu cho nghiên cứu di truyền. Sturtevant chuyển đến Caltech vào năm 1928 để giảng dạy và nghiên cứu ở đó cho đến hết sự nghiệp, nghiên cứu gen của *Drosophila*, ngựa, gia cầm, chuột, bướm đêm, ốc sên, mống mắt, và hoa anh thảo đêm.^[30] Ông đã đệ trình sự phản đối của mình với chủ tịch AEC tại Washington vào tháng 6 năm 1954 trong thời gian ông làm chủ tịch khu vực Thái Bình Dương của Hiệp hội Tiến bộ Khoa học Mỹ.

Sturtevant đã tỏ ra quan ngại sâu sắc, ông nói, rằng một nhân vật có thẩm quyền như Chủ tịch Strauss lại dám tuyên bố rằng mức độ phóng xạ thấp là vô hại. Ngược lại, ông lập luận, mọi nhà di truyền học có thẩm quyền đều biết rằng “bất kỳ cấp độ” phơi nhiễm phóng xạ nào chắc chắn

sẽ có hại “ít nhất về mặt di truyền đối với con người.” Ông nhấn mạnh rằng liều thấp của phóng xạ năng lượng cao là một “mối nguy hại sinh học.”^[31]

Cuộc tranh luận về thảm họa phóng xạ năm 1954 là điểm khởi đầu cho quyết định của AEC tại cuối thập niên để quy chiếu tiêu chuẩn bức xạ dựa trên một mô hình tuyến tính, với thiệt hại mặc định ngay cả ở liều thấp, xuống đến giới hạn phát hiện thấp hơn. Sự đảo ngược quan điểm của AEC là do cơ quan này chấp nhận kết nạp các nhà di truyền học vào ủy ban, dẫn đến một cuộc tranh luận giữa các nhà vật lý học và các nhà di truyền học - giữa các mối quan tâm về sức khỏe của người dân hiện nay và các mối quan tâm di truyền của người dân trong tương lai. Các nhà di truyền học cuối cùng đã giành phần thắng.

Một nhân vật then chốt trong cuộc tranh luận này là một nhà di truyền học tên là Hermann Muller, một người bé hạt tiêu, cao một mét sáu, sinh ra ở Manhattan vào năm 1890 và là một người khác của “phòng thí nghiệm ruồi” với tư cách là một sinh viên đại học và cao học ở Columbia. Năm 1926, giờ là giảng viên động vật học tại Đại học Texas ở Austin, Muller đã báo cáo về việc phát hiện ra đột biến nhân tạo - qua đó lần đầu tiên chứng minh việc chiếu xạ ruồi giấm *Drosophila* bằng tia X sẽ làm tăng tốc độ đột biến của nó. Khám phá đó đã mang đến cho các nhà nghiên cứu một phương pháp nhân tạo để gây đột biến, từ đó cho phép định hình các thí nghiệm để nghiên cứu cơ sở di truyền của sự sống. Muller đã được trao giải Nobel Y sinh học năm 1946 cho khám phá này.

Là một môn đệ mẫu mực của chủ nghĩa xã hội, Muller có mối quan tâm sâu sắc đến thuyết ưu sinh. Do tin rằng cải thiện ưu sinh học sẽ chỉ có đạo đức trong một xã hội phi giai cấp - ông đã lên án phong trào ưu sinh học ở Mỹ vì chủ nghĩa phân biệt chủng tộc và chủ nghĩa tinh hoa - ông chuyển đến Liên Xô từ năm 1933 đến năm 1937 để làm nghiên cứu về di truyền học. Khi sự nổi lên của chủ nghĩa Lysenko⁽⁴⁴⁾ khiến ông gặp nhiều rắc rối về chính trị, ông thoát khỏi sự thanh trừng bằng cách tình nguyện nhập ngũ Lữ đoàn quốc tế trong cuộc nội chiến Tây Ban Nha. Làm việc tại Madrid với bác sĩ phẫu thuật người Canada Norman Bethune, Muller làm nghiên cứu bằng cách sử dụng máu người chết còn tươi để truyền máu và giúp phát triển việc bảo quản và lưu trữ máu, một công nghệ y học tiên phong giúp bảo vệ tính mạng con người.^[32]

Từ Tây Ban Nha, Muller chuyển đến Edinburgh để làm việc tại trường đại học ở đó, cuối cùng trở về Mỹ vào năm 1940. Sau khi giảng dạy tại Đại học Amherst khi được bổ nhiệm tạm thời trong Thế Chiến II, ông đã tìm thấy một mái nhà học thuật năm 1945 tại Đại học Indiana, nơi ông giảng dạy và làm việc trong phần còn lại của sự nghiệp. Cuộc sống của ông đến thời điểm đó đầy mâu thuẫn và căng thẳng tài chính, khiến ông rất cẩn trọng với danh tiếng của mình. James Watson, vào năm 1953 là một trong số những người phát hiện ra cấu trúc của DNA, đã tham gia khóa học của Muller về di truyền học nâng cao tại Indiana vào cuối những năm 1940 và kể về Muller, “các tổn thương quá khứ không bao giờ được chôn chắt, và hết lần này đến lần khác ông không hiểu sao mình lại là người đầu tiên phải chịu hậu quả cho thí nghiệm của mình. Nhưng... số phận luôn luôn có vẻ đã định rằng ông sẽ là người đầu tiên.”^[33]

Muller tin vào sự hoàn hảo của con người thông qua “lựa chọn mẫn mống” tự nguyện, như cách ông gọi nó. Ông cũng biết từ nghiên cứu di truyền học của mình rằng đột biến là ngẫu nhiên và chủ yếu là ác tính: chúng gây hại thường xuyên hơn nhiều so với cải thiện gen.^[34] Đột biến nhân tạo, ông nói trong bài giảng Nobel của mình, cho phép ông “bằng cách chiếu xạ trong nửa giờ, có gấp hàng trăm lần đột biến trong một nhóm các tế bào mẫn được xử lý so với tốc độ đột biến tự nhiên trong quá trình của cả một thế hệ.” Trong điều kiện thí nghiệm của mình với ruồi giấm, tần suất đột biến như vậy tỉ lệ thuận với liều lượng bức xạ được sử dụng. Sau đó, ông lập luận, “không có lối thoát nào khỏi kết luận rằng không có ngưỡng chính xác”: mọi sự chiếu xạ đều gây ra đột biến, hầu hết các đột biến đều gây tổn hại hoặc gây chết người, và chúng không thể bị đảo ngược và tồn tại vĩnh viễn.^[35]

Đối với cá nhân Muller, điều đó có nghĩa là nghiên cứu, y học, và thậm chí với công nghiệp nói chung, đặc biệt là với “việc sử dụng năng lượng nguyên tử ngày càng tăng,” đều phải gánh vác một nghĩa vụ khẩn cấp: thực hiện các “biện pháp phòng ngừa đơn giản” để bảo vệ cơ quan sinh sản khỏi bức xạ. Ông “biết chắc chắn” từ những thí nghiệm trên các sinh vật bậc thấp hơn chủ yếu là ruồi giấm rằng tất cả các bức xạ năng lượng cao sẽ tạo ra những đột biến như vậy trên con người.^[36]

Khi Muller đến Stockholm vào tháng 12 năm 1946 để nhận giải thưởng Nobel, tự tin khẳng định rằng bất kỳ sự phơi nhiễm phóng xạ nào, dù có

giới hạn đến đâu, sẽ gây hư hại di truyền, ông cố tình tránh đề cập rằng mình vừa được chứng kiến bằng chứng ngược lại. Vào giữa tháng 11, ngay trước khi Muller đi Thụy Điển, một đồng nghiệp mà ông cộng tác trong dự án thử nghiệm di truyền của Dự án Manhattan tên là Curt Stern đã gửi cho ông một bản thảo nghiên cứu của một nhà khoa học Dự án Manhattan khác, nhà nghiên cứu hành vi côn trùng Ernst Caspari. Nghiên cứu của Muller, và của những người khác trong những năm qua, khám phá những ảnh hưởng của liều phóng xạ cao và trung bình. Caspari mở rộng nghiên cứu về phạm vi liều thấp và đặt câu hỏi cụ thể liệu rằng hiệu ứng sẽ giống nhau khi liều được lan truyền trong một khoảng thời gian (“kinh niên”) thay vì cho phơi nhiễm tất cả trong một lần (“cấp tính”). Người tiên nhiệm của Caspari đã phát hiện với liều xạ cấp tính thì đột biến tăng tỉ lệ thuận với liều phóng xạ, từ 4.000 r⁽⁴⁵⁾ xuống đến 25 r. Phát hiện mới đáng ngạc nhiên của Caspari là ruồi giấm tiếp xúc với liều 2,5 r hằng ngày trong 21 ngày liên tục, với tổng số 52,5 r, cho thấy *không có sự gia tăng* tỉ lệ đột biến nào. “Kết quả này,” ông viết, “có vẻ như mâu thuẫn trực tiếp với phát hiện trước đó rằng liều xạ cấp tính với 50 r và thậm chí 25 r gây gia tăng đáng kể tỉ lệ đột biến.”^[37]

Phát hiện mới của Caspari đặt Muller vào một tình thế nan giải. Ông đang chuẩn bị nhận giải thưởng Nobel cho phát hiện ra đột biến nhân tạo mà ông tuyên bố sẽ xảy ra với bất kỳ liều phóng xạ nào lớn hơn không. Kết quả mới của Caspari mâu thuẫn với tuyên bố đó, hoặc ít nhất là làm dấy lên nghi ngờ về nó. Ông nên làm gì?^[38] Những gì ông đáng ra phải làm là giới hạn lại bài giảng Nobel của mình. Ông hiểu rằng bằng chứng của Caspari đã chỉ ra ngưỡng phóng xạ liều thấp có thể chịu được tác hại phóng xạ. Muller viết phản hồi Stern vào ngày 12 tháng 11 rằng đã nhận được bản thảo, cáo lỗi vì quá bận rộn với công việc trước khi đi Stockholm vào đầu tháng 12 nhưng hứa sẽ “đọc thật kỹ vào thời gian hợp lý” vì “nó có tầm quan trọng vô cùng và kết quả dường như trái ngược hoàn toàn với những gì bạn và những người khác đã thu được.”^[39] Tuy nhiên, tại Stockholm, Muller đã nhận giải thưởng Nobel và sau đó cố tình bỏ qua những phát hiện của Caspari trong bài giảng của mình.

Trở lại Indiana vào tháng 1 năm 1947, Muller đã đánh giá bài báo của Caspari một cách cẩn thận hơn. Bài báo hầu như không có điểm nào để phê phán - ông nói với Stern rằng “gần như không có gì để nói về bản thảo đó”

- mặc dù ông nghĩ rằng ai đó nên làm lại thí nghiệm để xem họ có thu được kết quả giống vậy hay không. Sau đó, ông tham gia với tư cách là phản biện cho bài báo này khi được nộp đăng trên tạp chí *Genetics*. Khi bài báo này được đăng vào tháng 1 năm 1948, nó phản ánh hai thay đổi: tên Muller nay xuất hiện trong phần lời cảm ơn, và một câu quan trọng của nghiên cứu đã bị xóa đi. Câu bị xóa là câu hỏi chất vấn độ chính xác của lý thuyết Muller.^[40]

Sau khi ngăn chặn một thách thức dựa trên bằng chứng khoa học đối với mô hình “tuyến tính không có ngưỡng” (LNT) về hiệu ứng bức xạ của mình, người đoạt giải Nobel Muller tiếp tục quảng bá và bảo vệ mô hình LNT bất cứ khi nào và bất cứ nơi đâu dấy lên câu hỏi. Ông không cô độc trong những nỗ lực đó. Khi AEC theo đuổi việc thiết lập tiêu chuẩn phóng xạ, đầu tiên cho nhân viên phóng xạ và sau đó là cho công chúng nói chung trước nguy cơ thảm họa hạt nhân, AEC và các nhà khoa học độc lập đã tham gia vào các cuộc họp của nhiều ủy ban tổ chức trong suốt những năm 1950. Rõ ràng mô hình LNT đã được chấp nhận như một tiêu chuẩn tuyệt đối.

Edward Calabrese, giáo sư độc học của Đại học Massachusetts, người gần đây đã biết đến Hermann Muller cùng những nỗ lực trấn áp sự phản đối kết quả nghiên cứu của ông, nay đã buộc tội mô hình LNT và sự chấp nhận vội vã kết quả của nó là, “không trung thực, giỏi lảng tránh và tin tưởng mù quáng.”^[41] Jan Beyea, một nhà vật lý kiêm chuyên gia tư vấn sức khỏe cộng đồng, đã lập luận ngược lại với các nghiên cứu và ủy ban khác trong 50 năm qua luôn ủng hộ tiêu chuẩn LNT. Một nhà khoa học người Canada viết, “Chính các nhà vật lý hàng đầu chịu trách nhiệm phát minh ra vũ khí hạt nhân nay reo rắc nỗi sợ hãi với phóng xạ liều nhỏ trong dân chúng nói chung. Trong nỗ lực đạo đức cao cả của họ nhằm ngừng chạy đua chiến tranh nguyên tử, họ đã nhanh chóng thu hút thêm nhiều nhà khoa học từ các lĩnh vực khác tham gia. Cuối cùng, điểu này đã phát triển và bị chính trị hóa thành sự chống đối các nhà máy điện nguyên tử và tất cả mọi thứ liên quan đến hạt nhân.”^[42]

Cuộc tranh luận LNT rất quan trọng đối với sự suy giảm dài hạn của điện hạt nhân ở Mỹ. Nổi tiếng lúc đầu là sạch sẽ và có khả năng trở thành dạng năng lượng mới vô tận, điện hạt nhân bị thất sủng rộng khắp do nỗi sợ chung về bức xạ. Nỗi sợ đó càng trở nên trầm trọng hơn khi hiểm họa

chiến tranh hạt nhân treo lơ lửng trên đầu thế giới suốt những năm dài Chiến tranh Lạnh, cũng như bởi ba vụ tai nạn đã xảy ra ở các nhà máy điện hạt nhân kể từ khi năng lượng hạt nhân được thương mại hóa: Đảo Three Mile, Chernobyl và Fukushima Daiichi. AEC và những đơn vị kế nhiệm, cũng như ngành công nghiệp điện hạt nhân, đã cố gắng xoa dịu nỗi sợ hãi của công chúng bằng cách khẳng định chỉ có thiệt hại tối thiểu hoặc không có thiệt hại từ bức xạ mức độ thấp - thậm chí đôi khi tranh cãi về một tác dụng kích thích tố sinh học tích cực chưa được chứng minh. Một phong trào chống hạt nhân bắt nguồn từ sự thù địch với sự gia tăng dân số trong một thế giới được cho là địa ngục trần gian của Malthus đã thúc đẩy sự chấp nhận mô hình LNT, phóng đại tác động của nó.

Một trong những kết luận của Jan Beyea dường như có liên quan đến cuộc tranh luận gây tranh cãi và có tính chất phá hoại đang diễn ra. “Những thứ thường bị bỏ qua trong tranh luận về các mô hình phản ứng nồng độ hạt nhân là nguy cơ ở mức liều thấp cũng thấp theo,”^[43] ông viết. Liệu phóng xạ thấp không chỉ có nguy cơ thấp mà còn bị chìm trong tiếng thóa mạ không bao giờ dứt từ phe bảo vệ môi trường.

Hermann Muller trước đã cung cấp cho xã hội một quy tắc để tuân theo việc đánh giá xem có nên để dân chúng tiếp xúc với phóng xạ hay không, nay lại đề xuất rằng “mọi rủi ro nhất định đối với người ngoài cuộc phải được so sánh với khả năng xảy ra và mức độ lợi ích được thảo luận, và rủi ro chỉ nên được chấp nhận nếu rõ là nó thấp hơn lợi ích được đánh đổi bằng cách sử dụng phương pháp đặc biệt này [điều trị, nghiên cứu, và sản xuất năng lượng] chứ không phải là dưới dạng đã đi đầu chinh hoặc tương tự.”^[44] Tính đến giờ công nghệ hạt nhân đã đem lại lợi ích tốt đẹp nào ngoài giá trị tuyệt vời của năng lượng không có carbon?

Đến năm 2013, theo các nhà khoa học tại Viện Nghiên cứu Vũ trụ Goddard của NASA và Viện Trái đất của Đại học Columbia, “điện hạt nhân toàn cầu [đã] ngăn chặn trung bình 1,84 triệu ca tử vong liên quan đến ô nhiễm không khí và 64 tỉ tấn khí thải CO₂ gây hiệu ứng nhà kính sẽ sinh ra từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch.” Họ cũng ước tính, “dựa trên cơ sở dữ liệu dự báo toàn cầu bao gồm cả ảnh hưởng của vụ tai nạn ở Fukushima rằng điện hạt nhân có thể ngăn chặn trung bình từ 420.000 đến 7,04 triệu cái chết và từ 80 đến 240 [tỉ tấn CO₂ phát thải tương đương] do sử dụng

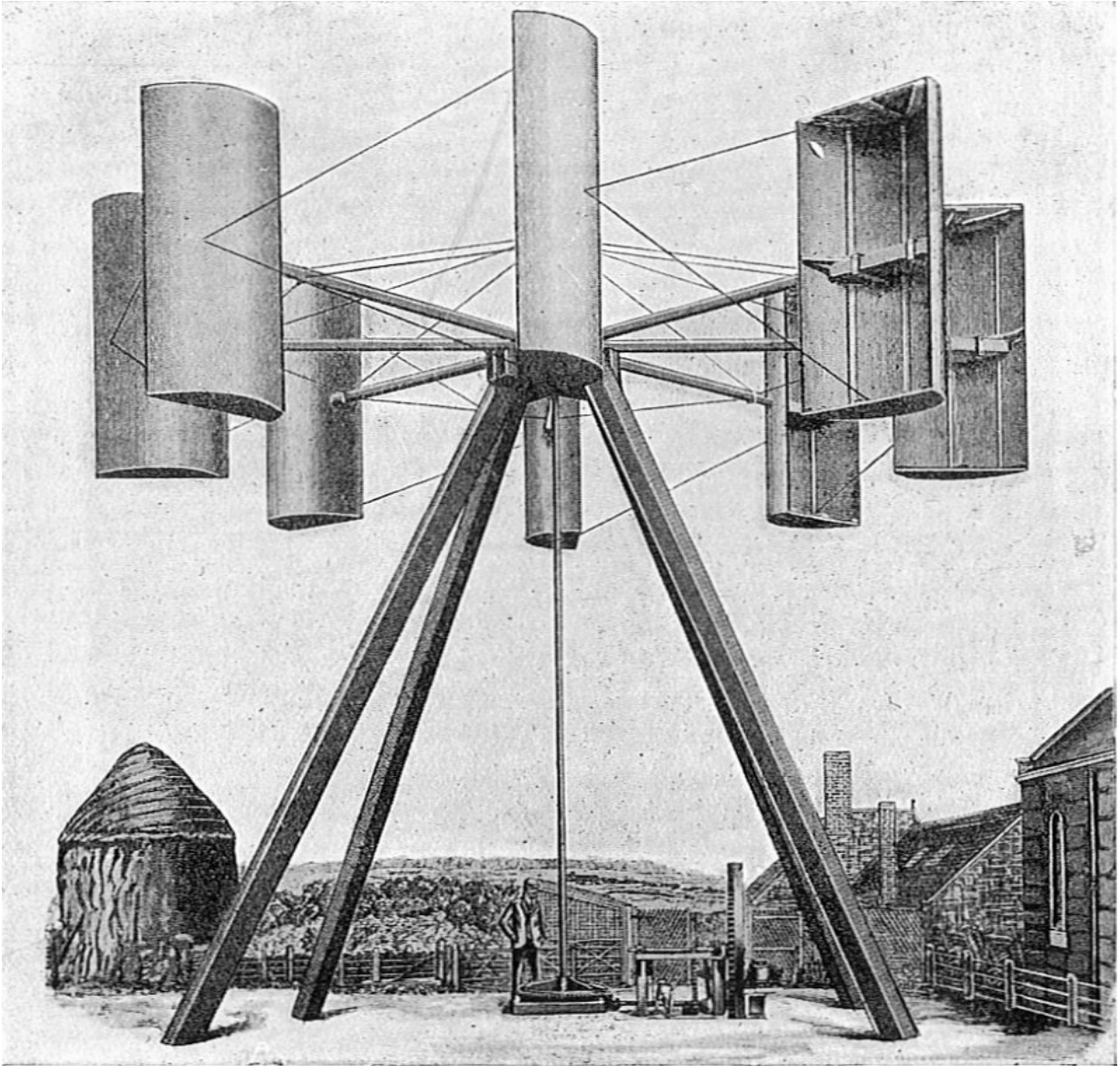
nhiên liệu hóa thạch tính đến giữa thế kỷ 21 [năm 2050], tùy thuộc vào loại nhiên liệu nào thay thế cho nó.”^[45]

Dự đoán này, không cần phải nói nhiều, giả định rằng điện hạt nhân sẽ tiếp tục tìm kiếm sự hỗ trợ chính trị như là một thành tố trong sự chuyển đổi năng lượng lớn nhất lịch sử loài người, quá trình chuyển đổi tối thượng mà thế giới phải đối mặt ngày nay khi đứng trước hiểm họa biến đổi khí hậu toàn cầu. Hay có thể năng lượng tái tạo sẽ trở thành cứu tinh cho nhân loại?

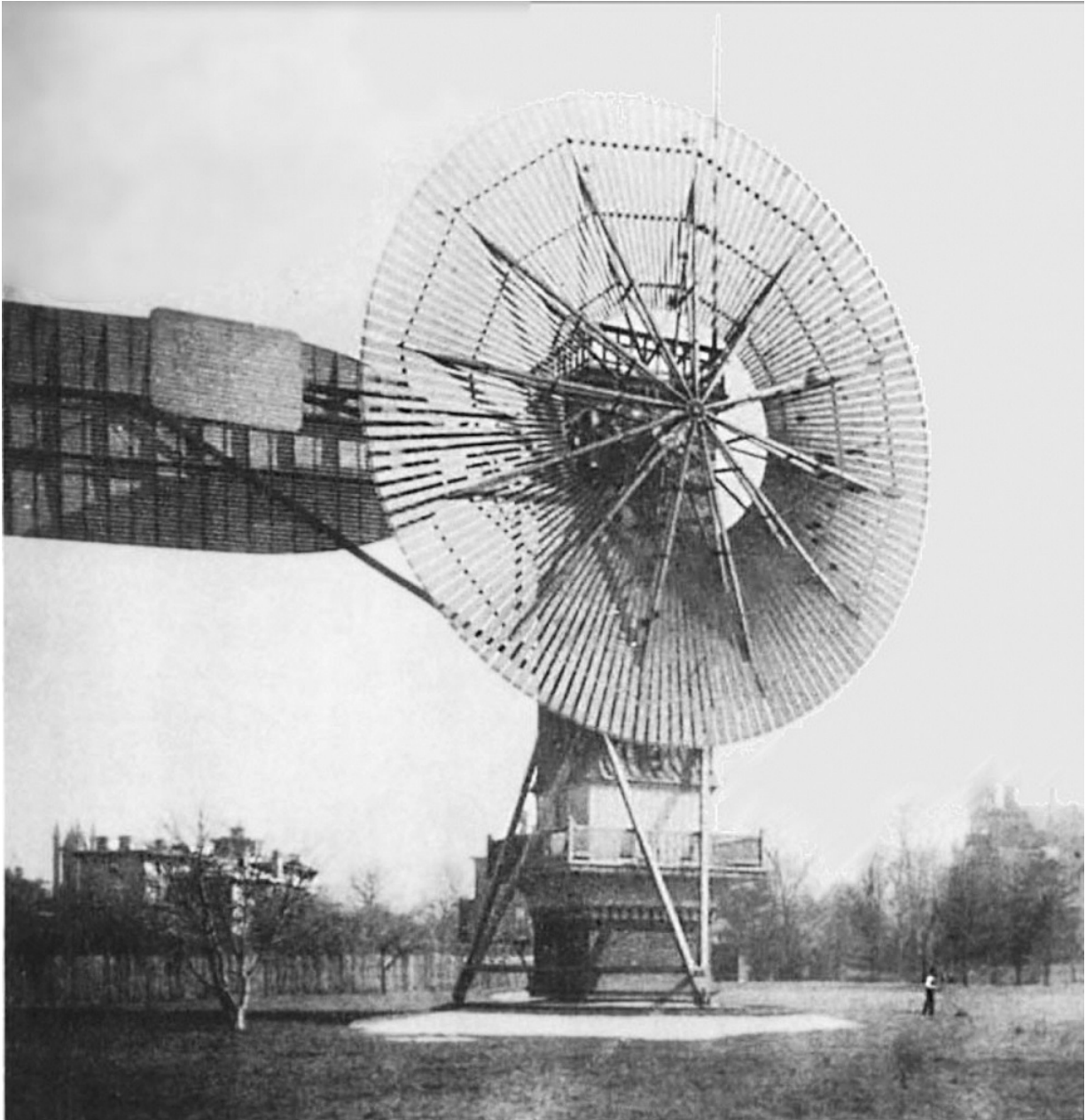
CÙNG HỘI CÙNG THUYỀN

Kỷ nguyên vĩ đại của năng lượng gió là thế kỷ 18 và 19 khi những cánh buồm no gió lái những con tàu chiến, tàu thám hiểm và tàu thương mại trên khắp các đại dương của thế giới. Năng lượng gió bắt đầu biến thành một nguồn điện từ năm 1887, khi nhà vật lý người Scotland, James Blyth, chế tạo một tua-bin điện gió nằm ngang để tạo ra điện thắp sáng ngôi nhà nghỉ mát của mình tại Marykirk, phía đông Scotland. Được mô phỏng theo phong kè, thiết bị đó có cánh buồm bằng vải, nhưng một tua-bin thế hệ sau và chắc chắn hơn cũng do Blyth chế tạo cho trại thương điền Montrose gần đó được sử dụng cánh quạt bằng gỗ và có vai trò làm nguồn năng lượng khẩn cấp suốt 27 năm.^[1]

Vài tháng sau khi Blyth xây dựng tua-bin điện gió tại nhà riêng ở Scotland, một nhà phát minh người Mỹ giàu có tên Charles F. Brush đã thiết kế và xây dựng một cách độc lập tua-bin điện gió lớn hơn trong sân sau rộng năm mẫu Anh của mình ở Cleveland. Được mô phỏng theo một cối xay gió trang trại tiêu chuẩn để bơm nước nhưng lớn hơn nhiều, nó cao 18 mét, nặng 36 tấn, và sạc cho một tầng hầm đầy pin để thắp sáng và cung cấp năng lượng cho nhà của Brush.



Tua-bin điện gió của nhà thương điên do James Blyth thiết kế, cao 10 mét, với những cánh quạt bằng gỗ, hoạt động được 27 năm.

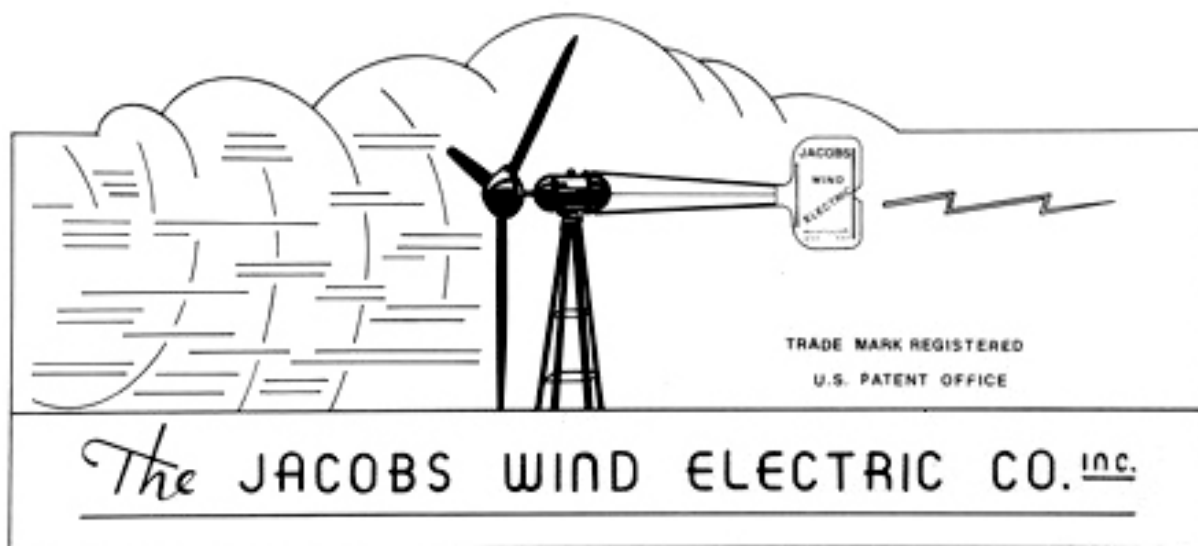


Tua-bin điện gió nhà Charles Brush. Để hình dung quy mô của nó hãy nhìn người đàn ông cắt cỏ ở bên phải.

Hai anh em, Marcellus và Joseph Jacobs, đã sản xuất những tua-bin điện gió thương mại đầu tiên vào những năm 1920. Họ mô hình hóa sản phẩm của họ theo một tua-bin điện gió do tự họ thiết kế và chế tạo cho trang trại của cha mẹ ở Montana, để tận dụng gió thảo nguyên thay cho xăng mà họ đã phải thồ vất vả bằng ngựa và xe hàng đi 65 km cho một máy phát điện của trang trại. (Chỉ một phần mười các trang trại Mỹ có trạm điện trung tâm vào năm 1930.) Hệ thống đầu tiên của anh em Jacobs sử

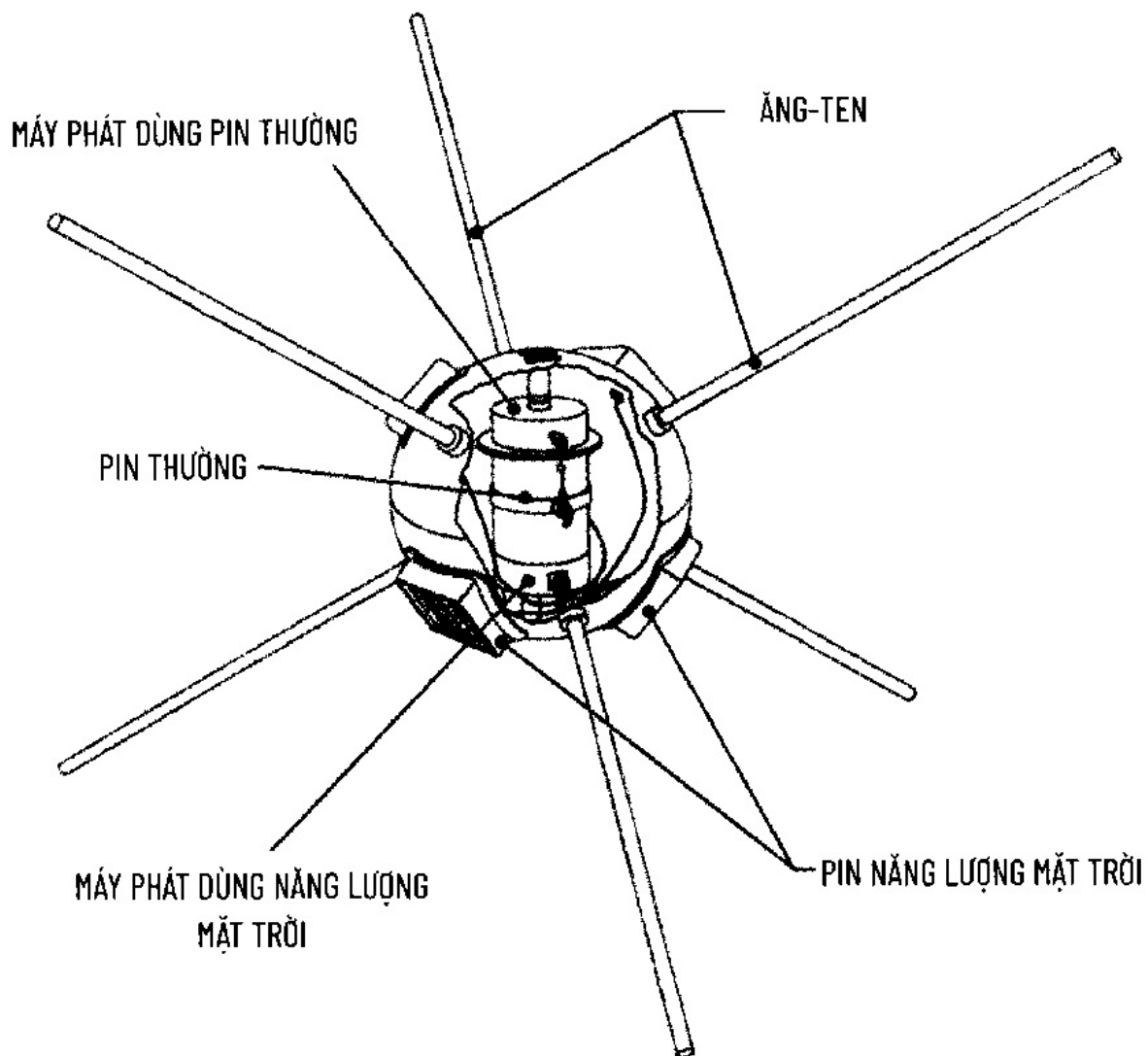
dụng trực sau và hộp số của xe tải Ford để cung cấp năng lượng cho máy phát điện, với ba cánh quạt và một bộ điều tốc để bảo vệ nó khỏi bị hư hại trong điều kiện gió giật. Quá trình bán các thiết bị 1 kilowatt dẫn hai anh em đến con đường lập doanh nghiệp vào năm 1928. Năm 1931, họ chuyển đến Minnesota để mở một nhà máy gần hơn với các nhà phân phối của họ, với một máy phát điện truyền động trực tiếp mới được gắn trên đỉnh tháp. Trong 30 năm tiếp theo, Công ty Điện Gió Jacobs ở thành phố Minneapolis, bang Minnesota đã bán được khoảng 20.000 máy phát điện chạy bằng sức gió từ 1 đến 3 kilowatt. Hàng trăm nghìn hệ thống điện gió nhỏ khác cung cấp điện đến nông thôn nước Mỹ cho đến những năm 1950, khi lưới điện được phủ 100%.^[2]

Giống như gió, ánh sáng mặt trời có thể được khai thác để lấy năng lượng trực tiếp dưới dạng nhiệt và ánh sáng hoặc thông qua chuyển đổi thành điện. Trên toàn thế giới, năng lượng mặt trời phục vụ chủ yếu cho trồng cây xanh làm thực phẩm và nguyên liệu. Điện mặt trời, tuy nhiên, phải đợi sự phát triển của pin quang điện silicon (PV) tại Phòng thí nghiệm Điện thoại Bell (Bell Labs) ở Murray Hill, New Jersey, vào những năm 1950. Các vật liệu nhạy cảm với ánh sáng trước đây như selenium hoạt động với hiệu suất cực thấp, không quá 1 %. Các tấm pin PV silicon đầu tiên của Bell Labs đạt được hiệu suất 6%, nhưng hiệu suất đã tăng nhờ kỹ thuật sản xuất và pha tạp boron, lên 11% vào năm 1955. Các nhà khoa học của Bell Labs ước tính rằng hiệu suất tối đa của pin PV là khoảng 22%. Phản xạ, bề mặt, điện trở tiếp xúc và các yếu tố khác giảm một nửa hiệu suất đó xuống còn tối đa 11%.^[3]



Vấn đề thực sự với các pin PV đời đầu là chi phí: sau một thử nghiệm sáu tháng ứng dụng trong hệ thống điện thoại ở Georgia, Bell Labs đã không tiếp tục ứng dụng chúng.^[4] Một trong những nhà khoa học người Đức đã đến Mỹ sau Thế Chiến II, làm việc cho quân đội tại phòng thí nghiệm của Quân đoàn Tín hiệu tại Fort Monmouth, New Jersey, đã rất ấn tượng với pin PV của Bell Labs. Hans K. Ziegler đi đầu trong việc cài đặt chúng lên vệ tinh liên lạc đầu tiên của Mỹ, *Vanguard I*, một dự án được Bộ Quốc phòng và Hải quân Mỹ tài trợ. Hai nhà tài trợ tranh cãi về nguồn năng lượng cho nó: Hải quân thì chuộng pin truyền thống. Trong một thỏa hiệp thực chất trở thành một thử nghiệm, cả hai nguồn năng lượng đã được lắp đặt trên vệ tinh *Vanguard I* dài 16 cm, nặng 1,6 kg, được phóng vào ngày 17 tháng 3 năm 1958 trên đỉnh tên lửa Vanguard ba tầng. Đến tháng 6, pin đã hết điện; pin PV tiếp tục cung cấp 1 watt điện cho vệ tinh trong sáu năm.^[5]

Các pin PV đời đầu rất đắt vì chúng được cưa ra từ những tấm tinh thể lớn được nuôi để làm transistor, mặc dù tấm PV không cần silicon có độ bán dẫn tinh khiết. Hai nhà khoa học tị nạn người Hungary tại trung tâm nghiên cứu vệ tinh COMSAT ở Clarksburg, Maryland là Joseph Lindmayer và Peter Varadi đã quyết định thành lập công ty riêng của họ, Solarex, để tạo ra pin PV cho các ứng dụng mặt đất. Đầu tiên họ đã thử làm pin từ phế thải silicon của vệ tinh.

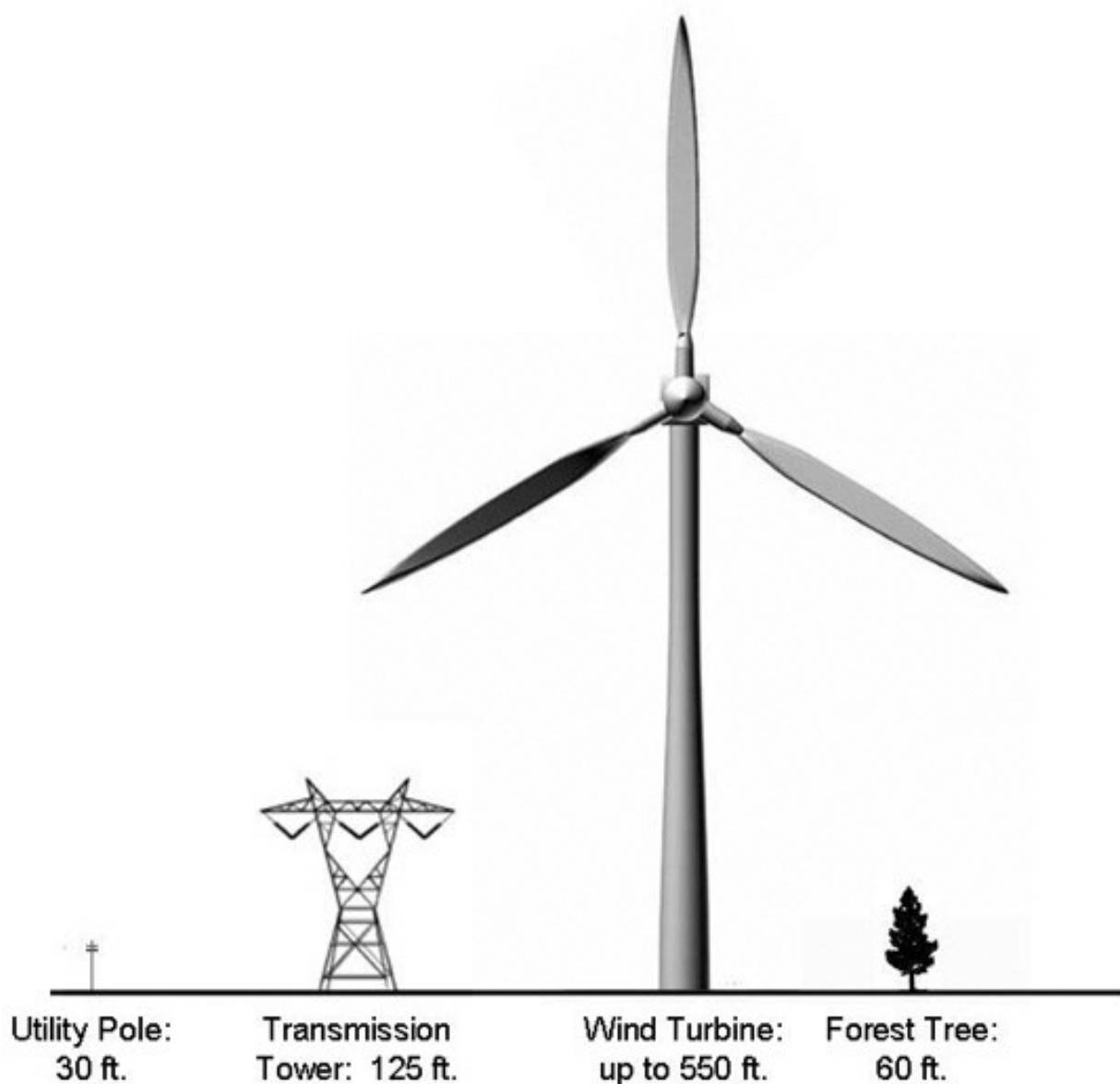


Vanguard I, vệ tinh liên lạc đầu tiên của Mỹ, được phóng vào không gian năm 1958, chỉ có đường kính 16 cm, được cung cấp năng lượng từ cả pin thường và pin PV của Phòng thí nghiệm Bell. Vệ tinh này ngừng hoạt động vào năm 1964, bay tổng cộng 59 năm trên quỹ đạo tính đến năm 2017.

Chúng chạy đủ tốt, nhưng ngu ồn cung không liên tục, và vẫn còn rất đắt. Solarex đã tìm được một thị trường cho nó, Varadi nhớ lại, trong “những khu vực rộng lớn không có ai sống nhưng vẫn cần liên lạc với nhau”: vùng đất liên bang được duy trì bởi Cục Lâm nghiệp Mỹ, Cục Quản lý Đất đai, Dịch vụ Thời tiết Quốc gia, “và ở nhiều bang như Arizona, r ấ lực lượng cảnh sát. Pin PV đã được thử nghiệm và hoạt động rất tốt nên các tổ chức này đã sử dụng nó.”^[6] Giai đoạn 1973-1974, khủng hoảng dầu mỏ ở Arab diễn ra, kích thích nhu cầu điện mặt trời, từ đó đưa Solarex vào

tần ngầm, và vào đầu những năm 1980, công ty đã phát triển một tiến chất đa tinh thể bằng cách nung chảy silicon, đổ nó vào khuôn và sau đó cắt các phiến ra từ khối đúc.

Sau đó là các tấm pin mái nhà lớn rồi đến các trang trại điện mặt trời. Công ty Southern California Edison đã kích hoạt cánh đồng điện mặt trời megawatt đầu tiên vào năm 1982 gần thị trấn Hesperia trong sa mạc Mojave phía đông bắc Los Angeles.



Tua-bin điện gió hiện đại là một cỗ máy quy mô công nghiệp, cao gần 170 mét.

Máy phát điện và thiết bị điểu khiển đặt trong một vỏ bọc được sắp xếp hợp lý đằng sau các cánh quạt quay.

Điện mặt trời trên toàn thế giới vẫn ở ngưỡng tối thiểu vào năm 2000 và đã tăng lên 50 gigawatt⁽⁴⁶⁾ vào năm 2010. Đến năm 2017, điện mặt trời đã cung cấp một lượng nhỏ nhưng ngày càng tăng trong thị phần điện toàn cầu: 305 gigawatt trên tổng khả năng lắp đặt toàn cầu vào khoảng 25 triệu gigawatt, ít hơn 1%. “Điện mặt trời chỉ như con cá nhỏ chìm ngấm trong biển năng lượng của hầu hết các quốc gia,” tờ *The Guardian* báo cáo năm đó. “Ngay cả khi công nghệ này được nhiệt liệt ủng hộ, chẳng hạn như ở châu Âu, trung bình điện mặt trời cung cấp 4% nhu cầu điện năng.” Các hệ thống quang điện cải tiến đang được phát triển bằng cách sử dụng màng mỏng polymer dẻo và có thể in được, và đang phát triển nhanh chóng, đặc biệt là ở Trung Quốc và Mỹ.^[7] Đối với nhiều khu vực của thế giới đang phát triển chưa có lưới điện, công nghệ điện mặt trời cải tiến với chi phí thấp hơn có thể mang lại khả năng nhảy vọt như điện thoại di động không cần mạng lưới dây dẫn trước đây.

Năm 2016 tổng công suất điện gió lắp đặt đạt 487 gigawatt, chưa đầy 1% tổng công suất điện thế giới. Tuy nhiên, các con số cho các nguồn năng lượng gián đoạn này là sai lệch vì chúng đại diện cho khả năng lắp đặt chứ không phải năng lượng thực tế được tạo ra. “Yếu tố dung lượng” của nó - khoảng thời gian thực sự tạo ra điện - là một vấn đề đối với tất cả những nguồn năng lượng gián đoạn. Mặt trời không phải lúc nào cũng chiếu sáng, gió không phải lúc nào cũng thổi, cũng không có nước luôn đổ xuống các tua-bin của đập. Tại Mỹ vào năm 2016, các nhà máy điện hạt nhân, nơi tạo ra gần 20% điện năng của Mỹ, đã có hệ số công suất trung bình là 92,1%, nghĩa là chúng hoạt động hết công suất trong 336 ngày mỗi năm. (29 ngày còn lại chúng được ngắt khỏi lưới điện để bảo trì - tất nhiên không phải tất cả cùng lúc.) Ngược lại, các hệ thống thủy điện của Mỹ cung cấp năng lượng trong 38% thời gian (138 ngày mỗi năm); tua-bin điện gió: 34,7% thời gian (127 ngày mỗi năm); và trang trại điện mặt trời chỉ chiếm 27,2% thời gian (99 ngày mỗi năm). Ngay cả các nhà máy chạy bằng than hoặc khí đốt tự nhiên cũng chỉ tạo ra điện trong khoảng một nửa thời gian của năm.^[8]

Điện tích chạy gần như tức thời từ máy phát điện đến nơi tiêu thụ, có nghĩa là nó phải được tạo ra trong thời gian thực để đáp ứng nhu cầu. Điện có thể được lưu trữ tạm thời trong pin hoặc bằng cách sử dụng nó để di chuyển hàng loạt vật liệu, thường là nước đến vùng đất cao hơn để được

xả sau đó để tạo ra điện. Năm 2018 nó hầu như không được tích trữ ở bất cứ đâu ngoại trừ ở quy mô địa phương và cực kỳ hạn chế. Nước Mỹ chỉ có lưới pin dung lượng 225 megawatt vào năm 2016, hầu hết được lắp đặt trong một lưới kết nối của các bang Trung-Đại Tây Dương. Khi các nguồn gián đoạn không tạo ra điện, hoặc khi nguồn cung tăng mạnh và sụt giảm vì điều kiện mây trời hoặc gió mạnh thì chúng phải được dự phòng với một nguồn điện phụ, thường là khí đốt tự nhiên. Không may thay, khí đốt tự nhiên có thành phần khoảng 75% khí mê-tan, một loại khí nhà kính giữ nhiệt trong khí quyển mạnh gấp 84 lần so với CO₂.^[9] Sau khi cháy, khí đốt tự nhiên cũng tạo ra khoảng một nửa lượng khí carbon dioxid so với đốt than, ngoài ra là oxit nitơ, lưu huỳnh, thủy ngân và các hạt ở mức thấp hơn xăng và thấp hơn nhiều so với than.

Thách thức lớn của thế kỷ 21 sẽ là hạn chế sự nóng lên toàn cầu trong khi vẫn cung cấp năng lượng cho dân số thế giới không chỉ tăng về số lượng mà còn tăng về chất lượng sống từ sinh tồn sang thịnh vượng. Thế giới sẽ đạt mốc mười tỉ người vào năm 2100, hơn 2,5 tỉ người nữa - tăng hơn 25% - so với dân số thế giới năm 2017.

Một cách khác để nói về “hạn chế sự nóng lên toàn cầu” là tăng truy cập thông, như các chuyên gia năng lượng làm, trong việc “khử carbon” của các nguồn năng lượng mà thế giới sử dụng. Chuyển từ than đá sang khí đốt tự nhiên là khử cacbon, vì khí đốt tự nhiên tạo ra khoảng một nửa carbon dioxid so với đốt than. Chuyển từ than đá sang điện hạt nhân là quá trình khử cacbon triệt để, vì điện hạt nhân chỉ tạo ra khí nhà kính trong lúc xây dựng, khai thác, xử lý nhiên liệu, bảo trì và ngừng hoạt động - điện mặt trời cũng vậy.^[10] Cả điện hạt nhân và điện mặt trời chỉ tạo ra khoảng 2% đến 4% lượng CO₂ so với một nhà máy nhiệt điện chạy than và khoảng 4% đến 5% so với nhà máy điện chạy bằng khí đốt tự nhiên.^[11]

Thế nhưng, việc phát triển điện hạt nhân đã bị chậm lại trong năm 2017 sau sự kiện tai nạn hạt nhân thứ ba trên toàn thế giới trong hơn 40 năm phát triển. Vụ tai nạn ở Pennsylvania tại đảo Three Mile, năm 1979, đã phá hủy lò phản ứng nhưng không phá hủy cấu trúc cách ly bằng thép và bê tông, chỉ phát tán lượng phóng xạ tối thiểu vào khí quyển. Vụ tai nạn tại Chernobyl, ở Ukraine thuộc Liên Xô năm 1986, đã phá hủy lò phản ứng (lò này bị thiếu cấu trúc cách ly, một thiết kế sẽ bị coi là bất hợp pháp tại Mỹ)

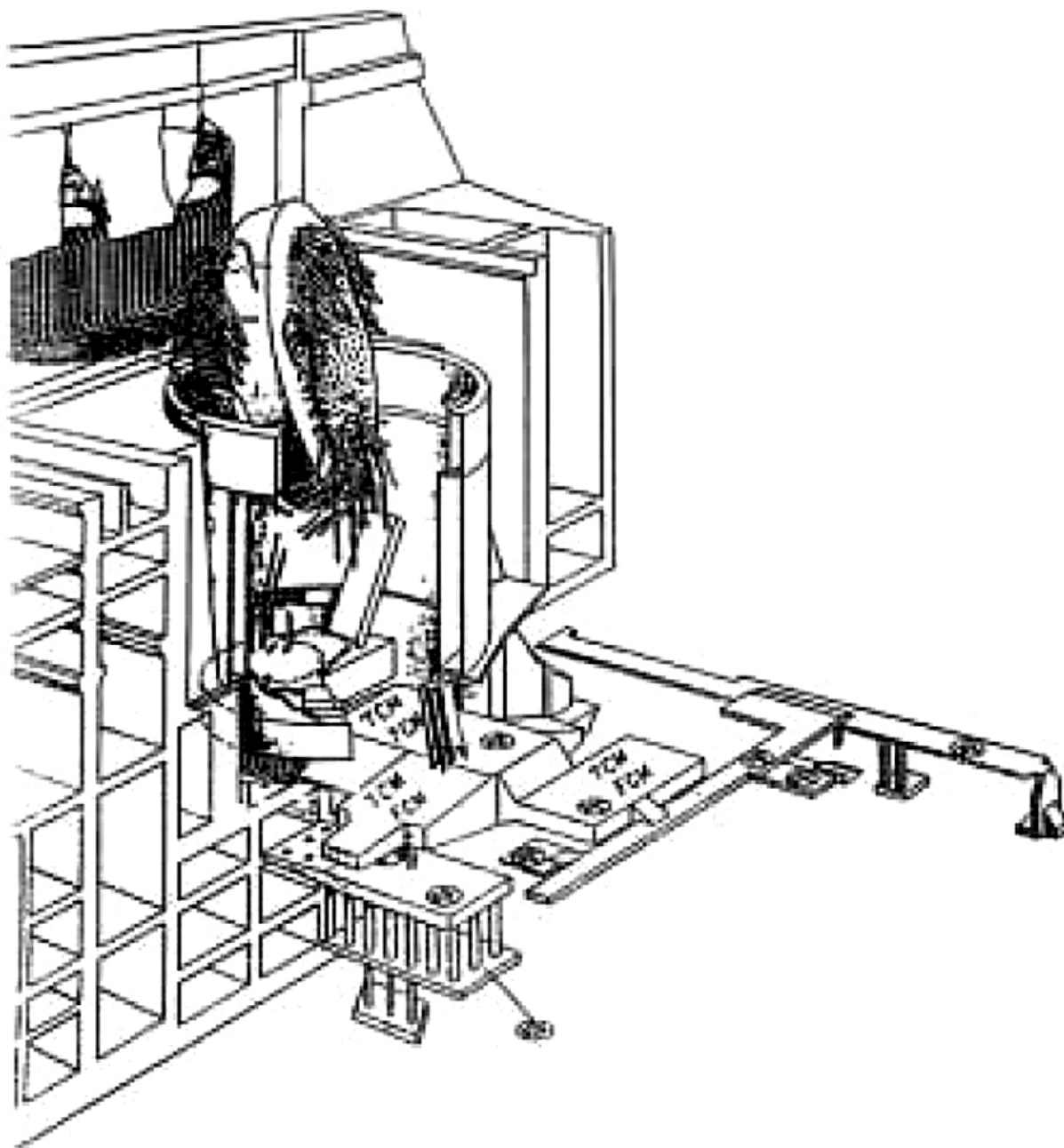
và phát tán lượng phóng xạ đáng kể vào không khí khi nó cháy mất kiểm soát trong 14 ngày.^[12]

Vụ tai nạn xảy ra vào tháng 3 năm 2011 tại Nhật Bản ở nhà máy điện Fukushima Daiichi sau một trận động đất và sóng thần lớn. Sóng thần làm ngập hệ thống cung cấp điện và hệ thống làm mát của ba lò phản ứng, khiến chúng tan chảy và nổ tung, phá vỡ cấu trúc cách ly. Mặc dù 154.000 công dân Nhật Bản đã được sơ tán khỏi khu vực tiệm cận 20 km xung quanh lò phản ứng, việc phơi nhiễm bức xạ ngoài khu vực nhà máy cũng rất hạn chế. Trích dẫn báo cáo đệ trình lên Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế (IAEA) vào tháng 6 năm 2011:

Không tìm thấy ảnh hưởng có hại cho sức khỏe với 195.345 cư dân sống ở khu vực lân cận của nhà máy sau khi họ được kiểm tra sức khỏe vào cuối tháng 5 năm 2011. Tất cả 1.080 trẻ em xét nghiệm phơi nhiễm tuyến giáp cho thấy kết quả trong giới hạn an toàn. Đến tháng 12, chính quyền kiểm tra sức khỏe cho khoảng 1.700 cư dân đã được sơ tán từ ba thành phố cho thấy hai phần ba đã bị phơi nhiễm phóng xạ bên ngoài trong giới hạn quốc tế bình thường là 1 mSv/năm, 98% là dưới 5 mSv/năm và mười người bị phơi nhiễm với hơn 10 mSv. Trong khi không có sự phơi nhiễm lớn nào với cộng đồng, cũng như không có ca tử vong nào do phóng xạ, đã có 761 ca tử vong “liên quan đến thảm họa,” đặc biệt là những người già phải rời bỏ nhà ở và bệnh viện vì lệnh sơ tán bắt buộc và các biện pháp phòng tránh phóng xạ khác. Thương tổn tâm lý hậu sơ tán là một rủi ro sức khỏe lớn hơn bất kỳ sự phơi nhiễm khả dĩ nào khi trở về nhà sớm, theo chính quyền địa phương.^[13]

Những tai nạn này đáng lẽ không được phép xảy ra. Sự cố Đảo Three Mile là một thảm họa tài chính nghiêm trọng đối với các chủ sở hữu, nhưng mức độ rò rỉ phóng xạ nhỏ của nó nằm trong giới hạn an toàn của phơi nhiễm bức xạ và không gây hại cho ai.^[14] Nguyên nhân của thảm họa Chernobyl nằm ở lỗi thiết kế nghiêm trọng của lò phản ứng tác dụng kép được duy trì như một bí mật quân sự và một thử nghiệm sai lầm trong việc ngắt kiểm soát máy do đội ngũ vận hành được đào tạo kém, một quy trình đòi hỏi vô hiệu hóa mọi hệ thống an toàn của lò phản ứng. Khi thanh điều khiển đầu bọc than chì được đưa trở lại quá chậm, lò phản ứng đã vượt hạn gấp 100 lần sức mạnh bình thường. Kết quả là vụ nổ hơi nước và hydro

làm nổ tung lõi lò phản ứng và thổi những mảnh chắn sinh học nặng nề của nó xuyên qua mái phòng chứa lò phản ứng lên thẳng không trung. Tiếp theo là cháy, giải phóng hầu hết phóng xạ của phần lõi vào môi trường.



Lò phản ứng Chernobyl số 4 sau vụ nổ hơi nước và hydro. Vật thể hình bát trên đỉnh của lò phản ứng là phần nắp lớn của nó, bị thổi bay và lật nghiêng. Vật dán nhãn TCW trên sàn là những mảnh lõi của lò phản ứng. Lò phản ứng cháy ngoài tầm kiểm soát suốt hai tuần.

Nhà vật lý hạt nhân người Belarus, Stanislav Shushkevich, vào năm 1992 là người đứng đầu nhà nước đầu tiên của Belarus độc lập, đã kể cho tôi trải nghiệm của ông ấy ở Chernobyl. Shushkevich chỉ đạo một phòng thí nghiệm vật lý trong khu rừng ở ngoại ô Minsk, 460 km về phía bắc Chernobyl. Sáng ngày 26 tháng 4 năm 1986, chuông báo động phóng xạ réo vang trong phòng thí nghiệm của ông. Stanislav và các đồng nghiệp tưởng ai đó trong phòng thí nghiệm đã làm đồ thử gì đó có phóng xạ. Nhân viên an toàn bắt đầu kiểm tra phòng thí nghiệm với một máy đo bức xạ. Khi không phát hiện được gì, anh ta đi ra ngoài. Mức độ phóng xạ bên ngoài cao hơn bên trong phòng thí nghiệm. Shushkevich cho biết ông sau đó nhận thấy bức xạ phải đến từ nơi khác. Ông ngay lập tức gọi cho nhà máy điện hạt nhân gần nhất, tại Visaginas, Litva, 200 km về phía bắc-tây bắc của Minsk. Họ báo cáo không có vấn đề. Sau đó, ông cố gắng gọi cho Chernobyl. Không ai trả lời điện thoại. Gọi xung quanh, ông biết về vụ nổ lò phản ứng và đám cháy. Bụi phóng xạ đã bay về phía bắc và ngày càng tăng. Nó sẽ sớm vượt khỏi Minsk.

Shushkevich nói với tôi rằng ông ấy nghĩ ngay đến những đứa trẻ xấu số trên đường đi của bụi phóng xạ. Thành phần đe dọa nhất của nó sẽ là i-ốt 131, một sản phẩm phân hạch với thời gian bán rã ngắn chỉ tám ngày, phát ra các chùm hạt beta và tia gamma năng lượng cao. Nó sẽ xâm nhập một cách chọn lọc bởi tuyến giáp, đặc biệt là với tuyến giáp khỏe khoắn của trẻ em. Phòng ngừa tiêu chuẩn chống nhiễm xạ i-ốt 131 là một liều kali i-ốt, một loại muối làm bão hòa tuyến giáp và tạm thời ngăn chặn sự hấp thu i-ốt. Mỗi nơi trú ẩn ở Liên Xô đều có một nguồn cung cấp kali i-ốt. Để bảo vệ trẻ em Minsk, Shushkevich đã gọi cấp trên của mình ở Moscow để xin phép lấy thuốc cứu trẻ em. “Họ trả lời,” ông kể với tôi, mười năm sau vẫn giận điên người, “‘Đồ ông chí à, sao anh lại rắc rối thế? Anh muốn bắt đầu một cuộc bạo loạn à? Câm miệng và quay trở lại làm việc đi.’”

Là một người đàn ông điềm tĩnh, lôi cuốn và yêu nước nhiệt thành, Shushkevich hạ quyết tâm ngay lúc đó rằng ông phải dẫn thân vào chính trị. Theo thời gian ông trở thành Chủ tịch Hội đồng Xô-viết Tối cao Belarus. Vào ngày 18 tháng 12 năm 1991, ông là một trong ba nhà lãnh đạo tối cao, cùng với Tổng thống Nga Boris Yeltsin và Tổng thống Ukraine Leonid Kravchuk, ba người đã ký văn bản giải thể Liên Xô. Sau đó, với tư cách là người đứng đầu nhà nước Belarus, ông đã chuyển tất cả số lượng

lớn vũ khí hạt nhân trên đất Belarus trở lại Nga, không muốn dính dáng gì đến chúng hay với lực lượng quân đội Nga canh giữ chúng.

Theo tính toán của Shushkevich, vụ tai nạn Chernobyl là một thất bại của chính phủ, chứ không phải của công nghệ. Nếu nhà máy điện hạt nhân Liên Xô không thiết kế sử dụng kép, tức là được thiết kế để sản xuất plutonium quân sự cũng như điện dân sự thì bí mật hay các vấn đề với lò phản ứng đáng lẽ sẽ được chia sẻ với các nhà quản lý tại các trạm phản ứng khác, dẫn đến các cải tiến an toàn như quy chuẩn được đưa vào lò phản ứng của Mỹ sau vụ tai nạn tại đảo Three Mile và vào các lò phản ứng của Nhật Bản hậu Fukushima.

Công ty Điện lực Tokyo (Tepco), công ty điều hành Fukushima Daiichi, cũng có vấn đề về quản lý và một lịch sử lâu dài về việc che giấu sai lầm vì lo sợ chỉ trích công khai. Một sai lầm kỹ thuật được biết đến đã làm cho các lò phản ứng của Fukushima dễ gặp nguy hiểm: nhà máy phát điện diesel và pin dự phòng của họ, dự định cung cấp năng lượng để bơm nước làm mát qua lõi lò phản ứng nếu lưới điện bị trục trặc, đã được lắp đặt trong tầng hầm của lò phản ứng bất chấp nguy cơ lũ lụt trong sóng thần. Tepco đã được Cơ quan An toàn Công nghiệp Hạt nhân Nhật Bản cảnh báo từ hẵn một thập niên trước để chuẩn bị cho cơn sóng thần nghìn năm có một - từng xảy ra từ 1.140 năm trước - nhưng họ đã không chú ý đến cảnh báo. Việc lắp đặt các bộ nguồn dự phòng *phía trên* lõi lò phản ứng thay vì bên dưới chúng sẽ bảo vệ việc làm mát khẩn cấp các hệ thống từ bất kỳ cơn sóng thần nào trừ trường hợp nó đủ lớn để quét sạch toàn bộ quần đảo Nhật Bản.^[15]

Mọi hệ thống công nghệ đều từng bị tai nạn, trong bối cảnh như thế một ác thần xấu xa tồn tại trong từng góc ngách nơi người điều hành không thể tưởng tượng nổi tai nạn có thể xảy ra. Trong tất cả các công nghệ năng lượng quy mô lớn, ngành hạt nhân có số vụ tai nạn ít nhất và số người chết ít nhất. Một nghiên cứu năm 2007 trên tạp chí y khoa *Lancet* của Anh đã cho thấy các chương trình điện hạt nhân dẫn đến “cái chết nghề nghiệp ở mức khoảng 0,019 mỗi TWh⁽⁴⁷⁾, phần lớn là ở giai đoạn khai mỏ, chạy tua-bin, và các giai đoạn tạo năng lượng. Những con số này là nhỏ trong bối cảnh vận hành bình thường. Ví dụ, một lò phản ứng bình thường thuộc loại đang vận hành ở Pháp sẽ sản xuất 5,7 TWh một năm. Do

đó, cần hơn mười năm hoạt động liên tục trước khi xảy ra một cái chết nghề nghiệp có thể được quy kết do nhà máy.”^[16]

Dữ liệu sức khỏe cộng đồng của điện hạt nhân thừa sức bù đắp cho số tai nạn nghề nghiệp đếm trên đầu ngón tay này. Ô nhiễm không khí được hạn chế nhờ mức khí thải nhà kính cực thấp và tính sẵn sàng 24/7 của nó trong hơn 90% thời gian khiến hạt nhân dễ dàng trở thành nguồn năng lượng hứa hẹn nhất sẵn sàng để ứng phó với những thách thức năng lượng của thế kỷ 21.

Các nhà hoạt động chống hạt nhân, có động cơ bắt nguồn từ một dự báo sai lầm kiểu Malthus về tình trạng quá tải dân số (trong khi sẵn sàng đứng ngoài lề kết án tử hàng triệu đồng loại của họ phải chết vì bệnh tật và cái đói), có thể bị buộc tội một cách nhẹ nhàng vì sự không trung thực trong chuỗi lập luận lên án nguồn năng lượng an toàn nhất, ít ô nhiễm nhất, gây ít hiệu ứng nhà kính nhất và đáng tin cậy nhất trong lịch sử nhân loại. Sau những lập luận nghèo nàn về tính an toàn và phóng xạ, tính đến thập niên thứ hai của thế kỷ 21, họ chỉ còn hai khúc mắc: điện hạt nhân có chi phí quá lớn và chưa có phương pháp an toàn nào để xử lý chất thải hạt nhân.

Liệu rằng điện hạt nhân có quá tốn kém hay không cuối cùng sẽ do thị trường quyết định, nhưng chắc chắn khi tính toán đầy đủ các chi phí bên ngoài của các nguồn năng lượng khác nhau, bao gồm đóng góp của chúng vào ô nhiễm không khí và sự nóng lên toàn cầu, thì người ta sẽ thấy điện hạt nhân rẻ hơn than hoặc khí đốt tự nhiên. Các biện pháp xử lý cái gọi là chất thải hạt nhân - có nghĩa là nhiên liệu hạt nhân đã qua sử dụng vẫn cấp năng lượng bằng khoảng 95% tiềm năng năng lượng ban đầu của nó - là một vấn đề chính trị ở Mỹ trong quá khứ, nhưng ngày nay không phải vậy và nó không phải là vấn đề khó khăn kỹ thuật. Việc chất thải hạt nhân phải được chôn lấp suốt hàng trăm nghìn năm ngược với cách con người xử lý mọi loại vật liệu độc hại khác mà chúng ta tạo ra. Chúng ta cứ chôn lấp nó, nhưng chúng ta cũng quên luôn rủi ro trong tương lai, với những căn cứ hợp lý mà chúng ta e ngại cho một hoặc tốt nhất là hai thế hệ sau, khi các công nghệ cải thiện theo thời gian, và cháu chắt của chúng ta sẽ có cách tốt hơn để ứng phó tốt hơn với nó. (Thế hệ tương lai thậm chí có thể sửa sai lầm của chúng ta về việc chôn vùi vĩnh viễn “chất thải” vẫn còn tiềm năng lớn lao cho sản xuất năng lượng sạch.)

Và trong những điều kiện nào thì việc chôn sâu chất thải hạt nhân không còn là vấn đề cục bộ khi nó lộ ra một cách vô tình hoặc cố ý? Theo kinh nghiệm cá nhân của tôi, chất thải hạt nhân được vận chuyển một hành trình dài trong một thang máy lồng hẹp xuống lòng đất qua 1 km đá rắn và đá muối đến tầng xử lý tại Nhà máy Thí điểm Cô lập Chất thải Mỹ (WIPP) bên ngoài Carlsbad, New Mexico, nơi tôi đã tham quan vào năm 2015. Vía tinh thể muối dày 2 km tạo thành các buồng của WIPP chính là phần còn lại của một đại dương cổ đại, trải dài từ phía nam New Mexico dọc theo hướng đông bắc đến tây nam Kansas. Nó có thể dễ dàng chứa toàn bộ chất thải hạt nhân của thế giới trong hàng nghìn năm tới.

Phần Lan thậm chí còn tiến bộ hơn nữa trong việc tạo ra một kho lưu trữ vĩnh viễn trong đá granit sâu 400 mét nằm dưới Olkiluoto, một hòn đảo ở biển Baltic ngoài khơi phía tây Phần Lan. Nó dự kiến sẽ bắt đầu tiếp nhận lưu trữ chất thải vào năm 2023.

Tôi tập trung vào điện hạt nhân trong chương này không phải vì tôi tưởng tượng nó là giải pháp duy nhất cho sự nóng lên toàn cầu. Không phải như vậy, chỉ các hệ thống năng lượng tái tạo không thôi cũng thế. Mỗi hệ thống năng lượng đều có ưu và nhược điểm riêng như hành trình qua 400 năm phát triển năng lượng này đã cố gắng làm sáng tỏ. Và với quy mô của sự nóng lên toàn cầu và tư duy phát triển của con người, chúng ta sẽ cần tất cả các hệ thống năng lượng đó nếu muốn chấm dứt quá trình kéo dài hàng thế kỷ khử carbon nguồn cung cấp năng lượng của loài người - gió, năng lượng mặt trời, thủy điện, hạt nhân, khí đốt tự nhiên. Như một điềm báo về những gì sắp tới, thành phố Bandar Mahshar của Iran đã phải hứng chịu một chỉ số nóng bức - một đơn vị đo kết hợp nhiệt độ và độ ẩm - là 165°F (74°C) vào tháng 8 năm 2015. Nhiệt độ ở Trung Đông trong những năm gần đây thường xuyên vượt quá 125°F.

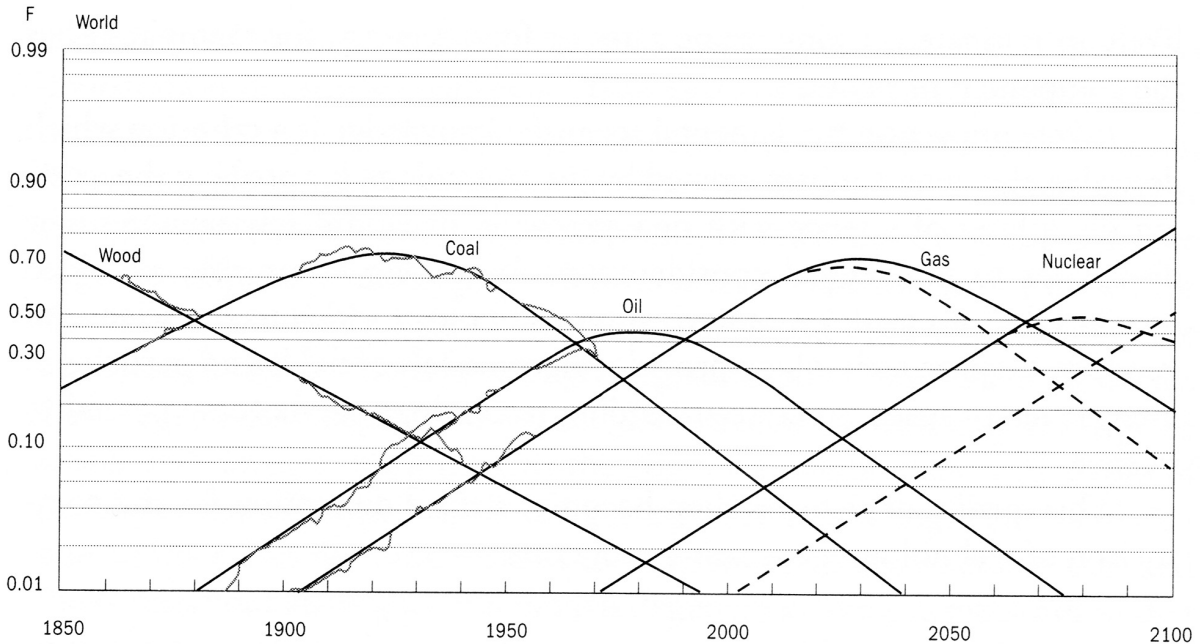
Năng lượng: Lịch sử nhân loại từ than củi tới hạt nhân khởi nguồn từ việc tôi đọc được nghiên cứu của một nhà vật lý người Ý tên là Cesare Marchetti. Sinh năm 1927, Marchetti đã có nhiều năm công tác tại một học viện ở Laxenburg, Áo, bên ngoài Vienna. Viện Phân tích Hệ thống ứng dụng Quốc tế (IIASA) là một kết quả hữu ích của tổ chức Câu lạc bộ Rome kém may mắn, được thành lập vào năm 1968 như sự thay thế lỏng lẻo của các nhà lãnh đạo doanh nghiệp, nhà khoa học và các quan chức chính phủ cấp cao của châu Âu muốn giải quyết (một lần nữa) tình trạng quá tải dân

số và cạn kiệt tài nguyên. Với hỗ trợ từ Câu lạc bộ Rome, IIASA được thành lập vào năm 1972 như một viện chính sách làm cầu nối cho khoảng cách kỹ thuật (và chính trị) đang gia tăng giữa châu Âu, Mỹ và các nước thuộc khối Xô-viết.

Nghiên cứu trước đây của Marchetti là về công nghệ điện hạt nhân, bao gồm thiết kế lò phản ứng và xử lý chất thải hạt nhân. Tại IIASA ông tập trung vào năng lượng, đặc biệt là việc mô hình hóa quy luật của sự chuyển đổi năng lượng. Một đồ thị thông tin dựa trên nghiên cứu mà ông và các đồng nghiệp theo đuổi vào cuối những năm 1970 đã thu hút sự chú ý của tôi.

Trong đôi dòng tự truyện, Marchetti viết rằng nhiệm vụ của ông khi gia nhập IIASA vào năm 1973 là tìm ra “một mô hình đơn giản và có tính tiên đoán mô tả thị trường năng lượng cho thế kỷ trước hoặc lâu hơn.” Các đồng nghiệp kinh tế học, ông đùa, “cứ nghĩ là nhìn vào móng tay của họ còn hữu ích hơn,” - tức là không muốn dính dáng gì với nhiệm vụ này - nên “với một tinh thần phiêu lưu nhất định,” Marchetti đã nhận thử thách này. Những thử thách như vậy, “những vấn đề không thể giải quyết,” thường đưa ông đến với “các cuốn sách về hệ thống sinh học. Đã tồn tại và tiến hóa khoảng bốn tỉ năm trong một môi trường cực kỳ thù địch, chúng là một thư viện sống của các giải pháp hiệu quả.”^[17] Hệ thống mà ông tìm thấy là sự cạnh tranh của các loài cho một ổ sinh thái. Trong ngôn ngữ kinh tế học, “giả thuyết cơ bản - điều đã được chứng minh rất hiệu quả và mạnh mẽ - là *năng lượng sơ cấp, năng lượng thứ cấp và hệ thống phân phối năng lượng chỉ là các công nghệ khác nhau cạnh tranh cho cùng một thị trường* với biểu hiện tương ứng.”^[18]

Đồ thị Thay thế Năng lượng Sơ cấp Thế giới ở dưới là kết quả từ nghiên cứu của Marchetti. Một nhà khoa học chính trị người Bồ Đào Nha, Luis de Sousa, đã đánh giá nghiên cứu của nhà vật lý người Ý vào năm 2007, giải thích: “Đồ thị này cho thấy một điều rất quan trọng: tất cả các nguồn năng lượng của Thời đại Công nghiệp đều tuân theo một xu hướng chung khi tham gia thị trường. Phải mất 40 đến 50 năm cho một nguồn năng lượng để đi từ 1 % đến 10% thị phần, và một nguồn năng lượng để chiếm một nửa thị trường sẽ mất gần một thế kỷ, tính từ thời điểm [khi] nó đạt 1%.”^[19]



Lịch sử phát triển của các nguồn năng lượng sơ cấp trên thế giới. Các dòng không đầu là dữ liệu thống kê của năm 1984; đường trơn là theo tính toán. Đường gạch ngắn bên phải song song với đường Hạt nhân thể hiện một nguồn năng lượng mới trên lý thuyết xuất hiện vào năm 2025. Tác động của nó đối với các nguồn năng lượng thông thường là không đáng kể tính đến trước năm 2050. Các nguồn năng lượng tái tạo, chưa đạt đến mức 1%, cũng bị hạn chế tương tự.

Tại sao việc áp dụng một nguồn năng lượng mới lại chậm như vậy? Câu trả lời quan trọng của Marchetti như sau: xã hội là một hệ thống học hỏi. Nó vận hành nhờ sự giao thoa văn hóa - truyền bá ý tưởng từ người này sang người khác - giống như một dịch bệnh. Việc phát minh ra một công nghệ mới chỉ là khởi đầu. Chiếc Model T của Henry Ford cần trạm xăng. Đổ xăng cần xăng, xăng đến từ dầu, dầu phải được phát hiện, nhà máy lọc dầu phải xử lý nó, đường ống phải dẫn dầu tới các nhà máy lọc dầu và dẫn xăng đến các thành phố nơi xe được lái. Mọi người phải từ bỏ cưỡi ngựa hoặc xe ngựa kéo và mua ô tô, học cách lái xe - và cứ thế. Khi phéc mơ tuya bắt đầu thay thế cúc quần áo, đã có những người chống lại sự thay đổi bởi vì họ tin rằng phéc mơ tuya là tội lỗi: nó làm cho việc cởi quần áo dễ dàng trong một xã hội mộ đạo khắc khổ.

Than đối với nhiều người thời Elizabeth là phân của Satan cũng giống như thái độ với điện hạt nhân ngày nay của những người chống đối nó. Các công ty nhiên liệu hóa thạch căm ghét điện hạt nhân lẫn năng lượng tái tạo: cả hai cạnh tranh cho không gian thị trường và làm tổn thương lợi

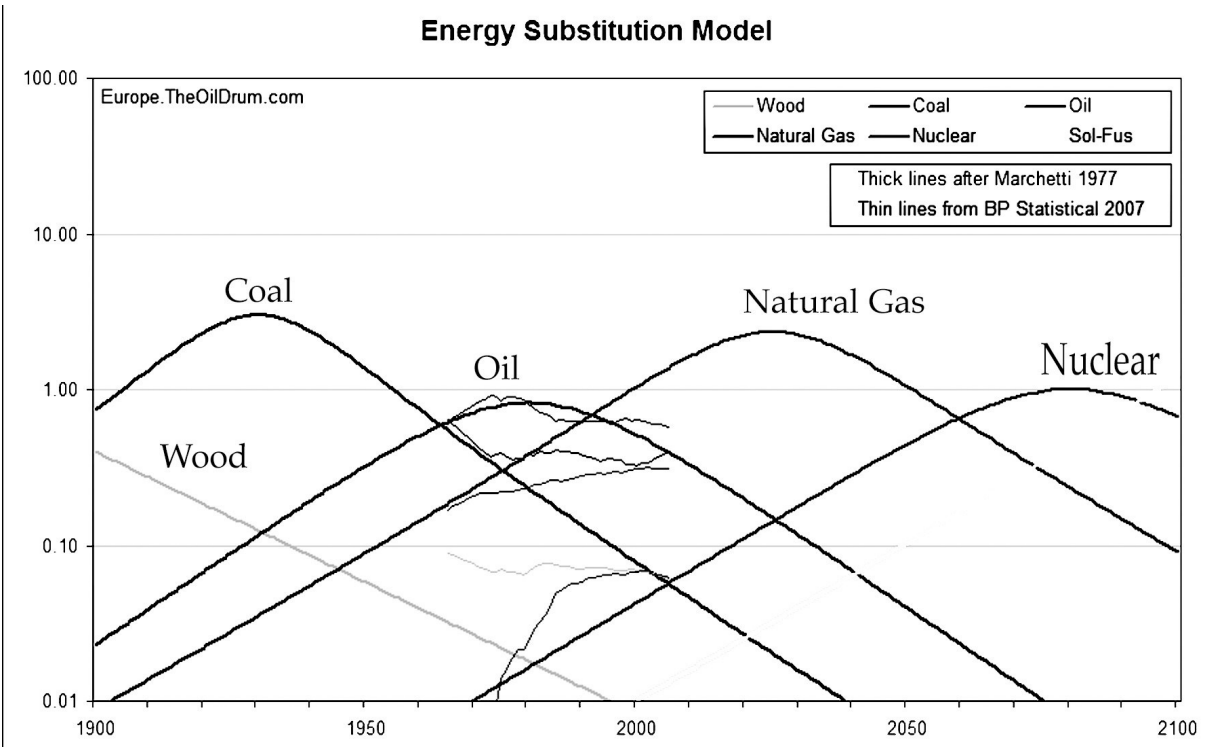
nhuận của họ. Như với rất nhiều thứ khác trong cuộc sống ở Mỹ, các nguồn năng lượng đã bị chính trị hóa, người đảng Cộng hòa nắm lấy quyền lực hạt nhân và đảng Dân chủ từ chối nó, những vấn đề sẽ không giúp cứu hành tinh của chúng ta.

Bản thân công nghệ cần thời gian để phát triển. Nhà kinh tế học Brian Arthur, trong cuốn sách ra mắt năm 2009 *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves* (Bản chất của công nghệ: công nghệ là gì và nó tiến triển ra sao), đã chỉ ra rằng một công nghệ mới chắc chắn sẽ còn thô sơ. “Vào những ngày đầu,” ông viết, “chỉ cần nó hoạt động là đủ.” Sau lần đầu tiên ra mắt, Arthur tiếp tục, “công nghệ non trẻ bây giờ phải dựa trên các thành phần thích hợp, trở nên đáng tin cậy, được cải thiện, nhân rộng và áp dụng hiệu quả cho các mục đích khác nhau.”^[20] Và nhấn mạnh một lần nữa: tất cả các giai đoạn phát triển này cần thời gian.

Đồ thị thay thế năng lượng sơ cấp của Marchetti kết hợp các mối quan hệ này cũng như sự cạnh tranh tinh vi hơn giữa các dạng năng lượng khác nhau. Trong nhiều nghiên cứu, ông đã liên tục bày tỏ sự ngạc nhiên về sự đầu đặn sâu sắc của việc chuyển đổi năng lượng, mà ông và các đồng nghiệp đã chứng minh trong số 3.000 ví dụ mà họ đã nghiên cứu trong nhiều thập niên. Xã hội không chỉ là một hệ thống học tập: nó cũng thay đổi đầu đặn theo làn sóng công nghệ thay thế trong các khoảng thời gian tầm nửa thế kỷ. Cuốn sách này, trong số các mục đích khác, là phần tường thuật mở rộng cho đồ thị của Marchetti, ngược dòng thời gian về thời Shakespeare.

Trong phản biện năm 2007, Luis de Sousa đã chất vấn các dự đoán trên đồ thị của Marchetti. De Sousa đưa ra một phiên bản sửa đổi, như ở dưới đây, giúp phản ánh những thay đổi sau cuộc khủng hoảng dầu mỏ Arab giai đoạn 1973-1974.

“Trong phạm vi rộng,” de Sousa viết, “dữ liệu thực đã ra ngoài mô hình của những năm 1970. Điều này có lẽ là do các cú sốc dầu làm đảo lộn thị trường nhưng các tác động kéo dài của nó thì không dễ giải thích. Ngay lập tức nổi lên và dễ nhận thấy là sau khi vượt qua cuộc khủng hoảng dầu mỏ vào những năm 1980 thì thị trường dường như đã đóng băng, với mỗi nguồn năng lượng duy trì thị phần của nó.”^[21] De Sousa bình luận lần lượt về từng thành phần năng lượng trên đồ thị.



Than: “Từ năm 2000, than đã tăng lên và có vẻ trở thành ứng cử viên sáng giá nhất để chiếm vị trí thống lĩnh của dầu mỏ, ngay khi dầu chạm ngưỡng.” Dầu: “Mặc dù dầu là nguồn năng lượng biến động nhất kể từ những năm 1970, nó là thứ gần hơn với mô hình [của Marchetti].” Vẫn là dầu: “Điêu này có nghĩa là Marchetti có lẽ đã đánh giá thấp xu hướng dầu lửa... Dầu ngày nay rõ ràng đang mất vị thế và có thể sẽ theo xu hướng giảm dần.” Khí đốt thiên nhiên: mô hình [khí tự nhiên của Marchetti] trông rất khả quan... Việc đánh giá thấp dầu có lẽ được phản ánh ở đây trong sự đánh giá quá cao khí đốt tự nhiên.”

De Sousa nhận xét điện hạt nhân xứng đáng được đánh giá riêng:

“Marchetti dự kiến điện hạt nhân sẽ đạt khoảng 5% đến 10% vào năm 2000, nhưng đi đầu đó đã xảy ra sớm hơn nhiều: điện hạt nhân đã tăng hơn 5% vào năm 1987. Tới những năm 1990, điện hạt nhân đã vượt quá sự mong đợi của ông sau sự kiện khủng hoảng dầu mỏ (tạo đi đầu kiện thâm nhập thị trường), nhưng khi các sản phẩm hydrocarbon lỏng bắt đầu tăng trưởng sản xuất trở lại, sự thâm nhập của hạt nhân vào thị trường chậm lại. Đến năm 2000, nó dao động khoảng 6,5%, nhưng đã giảm xuống dưới 6% kể từ đó.”

Và cuối cùng, về năng lượng tái tạo, de Sousa viết: “Hiện không có nhiều điều để nói về các nguồn năng lượng khác, ngoại trừ việc chúng không bao giờ xuất hiện. Như một điểm mốc, điện gió ngày nay chiếm 0,2% thị phần năng lượng, mốc mà điện hạt nhân đã vượt qua từ những năm 1950.”

Rõ ràng hạt nhân đã chùn bước trước sự kháng cự chính trị lớn ở cả châu Âu và Mỹ, các khu vực nơi năng lượng tái tạo được trợ cấp rất nhiều và hạt nhân bị kiểm soát nặng nề. Đồng thời, một nhịp tăng trưởng mới đã bắt đầu ở Đông và Nam Á, đặc biệt là Ấn Độ, Trung Quốc, Nhật Bản và Hàn Quốc: kể từ tháng 1 năm 2016, có 128 lò phản ứng đang hoạt động, thêm 40 lò nữa đang được xây dựng và có các kế hoạch chắc chắn để xây dựng thêm 90 lò. Nhiều dự án nữa đã được trình ra.^[22] Nó phản ánh sự mở rộng kinh tế ngày càng tăng theo hướng thịnh vượng của những quốc gia đông dân nhất thế giới, những nước đang nghẹt thở ô nhiễm nhiên liệu hóa thạch giống châu Âu và Mỹ 100 năm trước.

Phương Tây thịnh vượng rõ ràng là đủ khả năng đáp ứng nhu cầu năng lượng bằng năng lượng tái tạo nếu họ quyết định đi theo hướng đó. Phần còn lại của thế giới thì không được lựa chọn như vậy. Đồ thị của Cesare Marchetti, giả sử các vector trên đó được giải phóng khi các điều kiện thay đổi, dự đoán nguồn cung năng lượng trong tương lai bị chi phối bởi hạt nhân và khí đốt tự nhiên. Chúng ta sẽ cần tất cả những điều kiện đó và năng lượng tái tạo để có thể nuôi mười tỉ dân số thế giới trong một nền thịnh vượng hợp lý. Những con tàu tới tương lai đang xếp hàng rã. Có chỗ trên tàu cho tất cả mọi người.

Một cuốn sách khác cũng là một trong những tài liệu tham khảo nòng cốt của tôi kể từ khi xuất bản lần đầu năm 1985 là tác phẩm của học giả kiêm triết gia Elaine Scarry, *The Body in Pain: The Making and Unmaking of the World* (Thân thể trong đớn đau: Sự ra đời và chết đi của thế giới). Trong nghiên cứu đáng chú ý này, Scarry trước nhất khám phá mục đích của việc gây thương tích và giết thóc, đó là chiến tranh - cuộc đấu tranh của hệ thống niềm tin thông qua sự hi sinh vật chất. Sau đó, với sự độc đáo sâu sắc, bà khám phá mục đích của việc áp trí tưởng tượng của con người vào việc phát minh ra công nghệ:

Thế giới bên ngoài tồn tại một cách tự nhiên - sức mạnh khổng lồ và vẻ đẹp đáng kinh ngạc của mẹ thiên nhiên không cần phải bàn cãi dài dòng ở đây - vô thức hoàn toàn với đặc tính “dễ bị tổn thương” của con người. Vô cảm, vô tri giác, vô nhân đạo, nó lãnh đạm biểu hiện qua sấm sét và mưa đá, dơi mang bệnh dại, vi khuẩn đậu mùa và tinh thể băng. Trí tưởng tượng của con người tái hiện lại thế giới bên ngoài, tước bỏ sự vô cảm và vô trách nhiệm của nó không phải bằng cách cho nó nếm trải nỗi đau hoặc làm cho nó trở nên có tri giác mà bằng cách, theo đúng nghĩa đen, “bắt nó” hiểu về nỗi đau của con người như thể chính nó cũng có tri giác và biết đón đau.^[23]

Vì vậy, giày bảo vệ bàn chân, ghế ngỗ gánh trọng lượng của cơ thể, cối xay gió hoặc nhà máy điện hạt nhân tạo ra điện để làm ấm hoặc làm mát và thắp sáng đường đi. Cuối cùng, vượt lên trên mọi sự tranh biện về công nghệ nào xanh hơn và liệu thế giới này rộng lớn hay chật hẹp, chính là lý do chúng ta định hình lại những thứ vô tri giác bằng khả năng sáng tạo. Scarry chỉ ra rằng dự án vĩ đại của con người chính là xoa dịu nỗi khổ đau của nhân loại.

Dân số Trái đất đã tăng gấp bảy lần kể từ năm 1850 - từ một tỉ lên 7,5 tỉ người - chủ yếu nhờ có khoa học và công nghệ, nhờ có những cải tiến trong phát triển, sức khỏe cộng đồng, dinh dưỡng và thuốc men. Năm 1996, hai nhà nhân khẩu học ước tính rằng một nửa dân số Mỹ lúc đó, 136 triệu người, sống sót nhờ những sự cải thiện về tỉ lệ tử vong. Nếu không có những cải thiện như vậy, một phần tư dân số Mỹ, 68 triệu người, hẳn đã chết trước khi đến tuổi sinh sản. Và nếu những cái chết sớm đó là hiện thực thì có thể 68 triệu em bé sẽ không bao giờ được chào đời.^[24] Số mạng sống được cứu trong thế kỷ qua ở riêng Mỹ còn nhiều hơn tổng số cái chết do chiến tranh trong thế kỷ 20 trên toàn thế giới. Trong thế kỷ mới này, điểm khởi đầu một thiên niên kỷ mới, những sự cải thiện về tỉ lệ tử vong như vậy vẫn tiếp tục với kết quả ngày một vượt xa hơn.

Khác xa việc trở thành mối đe dọa văn minh nhân loại, khoa học, công nghệ và sự thịnh vượng mà chúng tạo ra sẽ duy trì sự tồn tại của nhân loại qua nhiều thế kỷ nữa. Đó là các thiết chế xã hội ít ỏi do con người sáng tạo ra vẫn luôn học hỏi từ sai lầm của chính chúng.

LỜI CẢM ƠN

Nhiều người đã giúp tôi viết cuốn sách này. Trước hết, tôi xin cảm ơn các thành viên của Quỹ Alfred P. Sloan, đặc biệt là Doron Weber, vì đã bỏ phiếu cho một khoản tài trợ cần thiết cho việc đi lại nghiên cứu thực tế. Michael Keller, Thư viện Đại học Stanford, đã mở rộng thư viện tuyệt vời của các bạn với tôi.

Ninya Mikhaila của tudortailor.com đã chỉ dẫn về trang phục mùa đông của công nhân thời Elizabeth. Keir Hind tại Thư viện Đại học Glasgow đã xác nhận tên gọi thường dùng của trường. Anthony Dawson, tác giả và chuyên gia, đã tóm tắt cho tôi về các hoạt động mua ngựa của kỵ binh Anh trong Chiến tranh Napoléon. Mike Dunn, người đi đầu hành bản sao của động cơ Newcomen tại bảo tàng Black Country Living ở Dudley, West Midlands, đã phô diễn cơ chế của nó cho tôi quan sát.

Tôi đã trao đổi với Ed Calabrese về các nghiên cứu của ông đối với công trình của Herman Muller. Ted Rockwell quá cố đã chia sẻ kinh nghiệm làm việc với Hyman Rickover và xây dựng nhà máy điện hạt nhân thương mại đầu tiên của Mỹ. Tôi được vinh hạnh trao đổi với Cesare Marchetti, thảo luận về hiện tại và quá khứ với Harold Agnew, Hans Bethe, Richard Garwin, Thomas Graham Jr., David Rossin, Michael Shellenberger, Stanislav Shushkevich, Charles Till, Eugene Wigner, và không phải nghi ngờ gì vẫn còn nhiều cái tên tôi lỡ bỏ qua. Tôi xin chân thành cảm ơn tất cả các bạn.

Anne Sibbald, người quản lý của tôi, đại diện cho tôi với trí thông minh và tính chuyên nghiệp vô tận. Ben Loehnen, biên tập viên của tôi tại nhà xuất bản Simon & Schuster, người đã sắc sảo cắt gọt để cho ra một cuốn sách hay hơn (và ngắn hơn). Và Ginger, Ginger kiên định của tôi, người đã luôn bên tôi từng bước trên con đường này: *Giờ hãy chào đón bình minh mới với những linh hồn vẫn đang thức tỉnh của chúng ta.*

(1) Tên đầy đủ là Hiệp hội Hoàng gia London vì mục tiêu nâng cao kiến thức tự nhiên (Royal Society of London for Improving Natural Knowledge): hiệp hội của các nhà khoa học hàng đầu ở Anh, có vai trò tương đương như viện hàn lâm khoa học quốc gia ở các nước khác. (Chú thích này là của người biên tập (BT), các chú thích khác của tác giả (TG), người dịch (ND), người hiệu đính (HĐ) sẽ mang ký hiệu tương ứng).

(2) Các nhà khoa học được gọi là nhà triết học tự nhiên cho đến năm 1833 khi William Whewell, thạc sĩ của Trinity College, Cambridge, đặt ra tên hiện đại cho họ là “nhà khoa học” ngày nay. (TG)

(3) Đây là tạp chí khoa học (có phản biện) đầu tiên của loài người, được xuất bản liên tục từ 1665 đến nay. (HĐ)

(4) Một ống thứ hai, ống *h*, đổ nước lên đỉnh piston để tránh rò hơi. (TG)

(5) Chủ thầu là tầng lớp làm trung gian được bảo hộ. Họ sở hữu thuyền chở hàng và vận chuyển than từ bờ sông đến các mỏ ven biển cung ứng cho London. (TG)

(6) Đại học Glasgow được gọi là Trường Cao Đẳng vào thời đó. Giờ không thế nữa và không cập nhật thông tin ở đây sẽ gây nhầm lẫn. (TG)

(7) Wheal: mỏ theo tiếng Cornish. (TG)

(8) Davies Giddy đổi tên thành Gilbert vào năm 1817 để thừa hưởng tài sản đáng kể của ông cậu, người muốn cái tên của gia đình Gilbert được nối dõi. Ông từng là chủ tịch của Hiệp hội Hoàng gia từ năm 1827 đến năm 1830. (TG)

(9) Hai thế kỷ sau, các nhà vật lý vĩ đại nhất đầu thế kỷ 20 là Ernest Rutherford, Albert Einstein và Niels Bohr, cũng đã loại bỏ khả năng phân tách nguyên tử để giải phóng năng lượng hạt nhân là chuyện nhảm nhí. (TG)

(10) Săn cáo là một trong các trò chơi săn bắn thú hoang được quý tộc và hoàng gia Anh ưa thích và duy trì cho đến ngày nay. (ND)

(11) Sir William Congreve đã phát triển tên lửa quân sự đầu tiên của Anh từ các mẫu của Ấn Độ vào năm 1805. Thứ “ánh sáng đỏ” từ tên lửa quan sát được từ Pháo đài McHenry trong Chiến tranh 1812 sau này được Francis Scott Key nhắc đến trong quốc ca Mỹ. (TG)

(12) Bằng một nửa khối lượng của Tòa nhà Empire State ở Mỹ. (TG)

(13) Than kênh là tên gọi cũ của đá phiến dầu, một khoáng chất cứng, sáng bóng, giàu bitum cùng hàm lượng dầu cao. (TG)

(14) Có thể Diller và phu nhân Johnston hay dùng rượu và thuốc ngủ hay thuốc phiện bởi hai người không giấu giếm sự trù ẻo của mình với hỗn hợp mùi c ỏn và thuốc tê này. (ND)

(15) Người bị bệnh lao thường chịu nhiều cơn sốt dữ dội. (TG)

(16) Giống như một số người đã nghi ngờ về khả năng ánh sáng mà không cần bức, những người khác, bao gồm cả các thành viên của Quốc hội và Hội Hoàng gia đã khẳng định rằng đường ống dẫn khí sẽ nóng đến mức trở thành hiểm họa, đặc biệt nếu bị nén kín trong các bức tường. (TG)

(17) Nguyên văn: “Leviathan,” loài sinh vật biển thần thoại trong Kinh Thánh, được lấy cảm hứng từ cá voi. (ND)

(18) Tiệc trà Boston (Boston Tea Party) là sự kiện diễn ra nhằm phản đối Đạo luật Trà do Quốc hội Anh ban hành. Một số cư dân Boston, tự xưng là “những người con của tự do,” đã leo lên thuyền chở trà từ Anh qua và quẳng những thùng trà xuống biển. (BT)

(19) “Train” bắt nguồn từ tiếng Hà Lan và Đức chỉ các chất được tiết ra ví dụ như nước mắt và nhựa cây. (TG)

(20) Nhiên liệu đèn đốt dạng lỏng, gần như không hòa tan trong nước, dễ bay hơi và có mùi hăng. (ND)

(21) Một loại dầi được cấp bằng sáng chế chưng cất từ gỗ vụn. (TG)

(22) Nguyên văn: “crank,” thuật ngữ hàng hải chỉ sự tròn trành do nặng đầi. (TG)

(23) 150 ngọn nến sáng hơn một chút so với bóng đèn sợi đốt 100 watt hoặc bóng đèn 25 LED watt. Nhân đôi số đó sẽ sáng hơn một chút so với đèn sợi đốt 200 watt hoặc 50 LED watt. (TG)

(24) Nhôm lần đầu tiên được tinh chế bởi Hans Christian Oersted vào năm 1825, đã từng rất hiếm và đắt đỏ đến mức Hoàng đế Napoleon III dành riêng bộ đồ ăn bằng nhôm đặc chế của mình cho các dịp lễ trang trọng. Chóp các Đài tưởng niệm Washington cũng được phủ 2,85 kg thứ vật liệu quý hiếm này; sau đó, vào năm 1884, giá đã giảm xuống còn một đô-la mỗi ounce. Khi người ta có thể dùng năng lượng điện để lọc nhôm từ quặng. Thứ kim loại sáng bóng một thời đắt đỏ này trở nên phổ thông và ít tốn kém hơn. (TG)

(25) “Cracking” chỉ đơn giản có nghĩa là bẻ gãy, như bẻ một cái que. (TG)

(26) Cụ thể, nó được sắp xếp theo các yếu tố độ âm điện hoặc độ dương điện: mức độ mà chúng có xu hướng tăng hoặc giảm electron trong các phản ứng hóa học. (TG)

(27) Đó là các triệu chứng DT (delirium tremens), giống như cơn vật của người cai rượu. (TG)

(28) Đó là ví dụ hùng hồn về năng lực khám phá khoa học phi thường của Midgley đi đôi với sự xui xẻo dài hạn bởi ông tiếp tục phát triển các chlorofluorocarbon có độc tính thấp, dễ cháy thay thế amoniac hoặc lưu huỳnh dioxit độc hại trong điện lạnh nhưng cuối cùng đã được chứng minh là làm hỏng tầng ozone của khí quyển bảo vệ con người và các sinh vật sống khác khỏi tác động phá hủy của bức xạ mặt trời. Do đó, phát kiến này cuối cùng cũng bị loại bỏ. (TG)

(29) *Dầu lửa, tiền bạc và quyền lực*, Daniel Yergin, bản tiếng Việt do Nxb Thế giới và Omega⁺ ấn hành. (BT)

(30) Cha đẻ của điệp viên hai mang khét tiếng người Anh Kim Philby. (TG)

(31) Casoc trở thành Công ty Dầu mỏ Arab Mỹ (Aramco) vào năm 1944. (TG)

(32) Btu (British thermal unit): đơn vị nhiệt của Anh, một btu bằng lượng nhiệt cần thiết để tăng nhiệt độ của một pound nước thêm 1°F. (TG)

(33) Dòng phun nước (slug of water) là dòng nước có pha các bọt khí được thổi chậm qua đường ống nhằm kiểm tra dò rỉ. (HĐ)

(34) Chỉ ít hơn khoảng 10% so với khối lượng của Kim tự tháp Giza vĩ đại. (TG)

(35) Bản tin văn, tiền thân của truyền hình. (TG)

(36) Thực ra là ba, nhưng chỉ có một dấu vết của đồng vị thứ ba, U234, có trong uranium tự nhiên. (TG)

(37) Biến đổi, giấc mơ của các nhà giả kim thuật trong quá khứ, là quá trình chuyển đổi một nguyên tố hóa học sang một nguyên tố khác - xảy ra trong trường hợp này khi hạt nhân U-238 thu được neutron. (TG)

(38) EDO (engineering duty officer) là sĩ quan chuyên biệt của Hải quân Mỹ cho mục đích kỹ thuật và không có vai trò chỉ huy tác chiến. (HĐ)

(39) Samuel Philip Sadler, người thành lập công ty vào năm 1901 cùng với con trai Samuel Schmucker Sadler, qua đời năm 1923; Philip Sadler, người tiếp quản công việc kinh doanh từ cha mình năm 1947 là cháu trai. (TG)

(40) Sol khí (aerosol) hệ keo của các hạt chất rắn hoặc các giọt chất lỏng, trong không khí hoặc chất khí khác. (HĐ)

(41) *Mùa xuân vắng lặng*, Rachel Carson, bản tiếng Việt do Nxb Thế giới và Phương Nam Book ấn hành. (BT)

(42) Nguyên văn: “antihumanism.” Lý thuyết phê phán chủ nghĩa nhân văn truyền thống và những ý tưởng truyền thống về loài người và đặc tính của con người. Trọng tâm của nó là quan điểm cho rằng các khái niệm về “bản chất con người,” “con người” hay “nhân loại” nên bị bác bỏ vì mang tính chủ quan và chỉ tương đối trong lịch sử hoặc siêu hình. (ND)

(43) Rem (roentgen equivalent man): đơn vị đo đánh giá ảnh hưởng của bức xạ ion hóa lên sức khỏe con người. (ND)

(44) Trofim Denisovich Lysenko là nhà sinh học người Liên Xô, người đã thúc đẩy một lý thuyết ngụy khoa học về sự kế thừa các đặc điểm di truyền. Ông đã tìm cách thanh trừng nhiều nhà di truyền học có uy tín của Liên Xô. (TG)

(45) R viết tắt của roentgen, đơn vị đo phóng xạ, được đặt theo tên của Wilhelm Roentgen, người phát hiện ra tia X-quang. (TG)

(46) Một gigawatt là một triệu kilowatt. (TG)

(47) Terawatt-giờ, một con số rất lớn: 1 terawatt-giờ tương đương với 1 nghìn tỉ watt-giờ. (TG)

CHƯƠNG MỘT

[1] Thông tin về các sự kiện vào ngày 28 tháng 12 năm 1598 đến từ Melissa D. Aaron, “The Globe and Henry V as Business Document,” *SEL: Studies in English Literature 1500-1900*: 40.2 (2000) 277-92; Vin Nardizzi, “Shakespeare’s Globe and Englands Woods,” *Shakespeare Studies* 39 (2011): 54-63; James Shapiro, *A Year in the Life of William Shakespeare: 1599*. New York: Harper Perennial, 2006, 1-42; Charles William Wallace, “The First London Theatre: Materials for a History,” *University Studies* 13, nos. 1, 2, 3 (1913): 1-35ff. passim.

[2] J. R. Mulryne và Margaret Shewring, eds. *Shakespeare’s Globe Rebuilt* (Cambridge: Cambridge University Press, 1997), 190.

[3] Charles w. Eliot, ed. *The Harvard Classics*, vol. 35, *Chronicle and Romance: Froissart, Malory, Holinshed* (New York: P. F. Collier & Son, 1938), 293.

[4] Michael W. Flinn, “Timber and the advance of technology: A reconsideration,” *Annals of Science*, 15:2, 110-11; John U. Nef, *The Rise of the British Coal Industry*, vol. 1 (London: Routledge, 1966), 158.

[5] Eric Rutkow, *American Canopy: Trees, Forests, and the Making of a Nation* (New York: Scribner, 2013), 12.

[6] Flinn (1959), 110, 4n.

[7] Robert Greenhalgh Albion, *The Timber Problem of the Royal Navy, 1652-1862* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 1926), 4.

[8] Ibid., 28.

[9] *The Diary of Samuel Pepys*, Chủ nhật, ngày 5 tháng 5 năm 1667. www.pepysdiary.com.

[10] Albion, *Timber Problem of Royal Navy*, 116-17.

[11] Ibid., 118-19.

[12] Daniel Neal, *The History of New England*, vol. 2 (London: A. Ward, 1747), 213 (đã hiện đại hóa ngôn ngữ).

[13] Albion, *Timber Problem of Royal Navy*, 121.

[14] Arthur Standish, *The Commons Complaint* (London: William Stansby, 1611), 1.

[15] Eliot, *Chronicle and Romance*, 319-20.

[16] Nef, *Rise of British Coal*, vol. 1, 156.

[17] Samuel Smiles, *Industrial Biography: Iron Workers and Tool Makers* (Boston: Ticknor and Fields, 1864), 59n.

[18] Geoffrey Chaucer, “The Former Age,” dòng 27-30.

[19] Georgius Agricola, *De re Metallica*, trans. Herbert Hoover và Lou Henry Hoover (1556; repr., New York: Dover, 1950), 7.

[20] John Milton, *Paradise Lost*, bk. 1, dòng 670-88.

[21] Galloway, *A History of Coal Mining in Great Britain* (London: Macmillan, 1882), 23.

[22] Nef, *Rise of British Coal*, 25.

[23] Peter Brimblecombe, *The Big Smoke: A History of Air Pollution in London Since Medieval Times* (London: Methuen, 1987), 66, bảng 4.1.

[24] “Historical Overview of London Population.” <http://www.londononline.co.uk/factfile/historical/>.

[25] Benita Cullingford, *British Chimney Sweeps: Five Centuries of Chimney Sweeping* (Hove, UK: Book Guild, 2000), 9.

[26] *Artificiall Fire, or, Coale for Rich and Poore*: Early English Books Online, Wing (2nd ed.) G623, British Library.

[27] Nef, *Rise of British Coal*, vol. 1, 21, bảng 2.

[28] John Evelyn, *A Character of England* (London: Joseph Crooke, 1659), 29-30. Early English Books Online.

[29] John Evelyn, *Fumifugium: or, the Inconvenience of the Aer, and Srnoake of London Dissipated* (London: in bởi W. Godbid, cho Gabriel Bedel và Thomas Collins, 1661; in lại cho B. White, 1672), 1-2.

[30] Ibid., 3.

[31] Ibid., 13.

[32] Ibid., 17.

[33] Ibid., 19-20.

[34] Ibid., 24-25.

[35] Ibid., 36.

[36] Ibid., 37.

[37] Ibid., 47.

[38] Ibid., 48-49.

CHƯƠNG HAI

[1] John Holland, *The History and Description of Fossil Fuel, the Collieries, and Coal Trade of Great Britain*, 2nd ed. (London: Whittaker, 1841), 178.

[2] John Hatcher, *The History of the British Coal Industry*, vol. 1, *Before 1700: Towards the Age of Coal* (Oxford: Clarendon Press, 1993), 196-97.

[3] Dr. Martin Lister, Fell. Coll. Phys. & R. s. với thông tin từ Mr. Maleverer, thuộc Arncliffe Ở Yorkshire. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 21(1699): 73-78.

[4] Robert Galloway, *Annals of Coal Mining and the Coal Trade: The Invention of the Steam Engine and the Origin of the Railway* (London: Colliery Guardian, 1898), 56.

[5] *Testimonies Gathered by Ashleys Mines Commission*.WWW.victorianweb.org.

[6] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 160.

[7] Ibid., 214.

[8] Ibid., 220.

[9] Ibid., 221.

[10] Ibid., 222.

[11] Ibid., 157.

[12] Boyle (1660), 5.

[13] Ibid., 22.

[14] Gerrit Tierie, “Cornells Drebbel (1572-1633)” (PhD diss., Leiden University, 1982), 17 (online).

- [15] Tierie, “Cornells Drebbel,” 32-33.
- [16] Tierie, “Cornells Drebbel,” 28.
- [17] Xem trao đổi trong Ibid., 70.
- [18] Ibid., 72.
- [19] C. D. Andriesse, *Huygens: The Man Behind the Principle*, trans. Sally Miedema (Cambridge: Cambridge University Press, 2005), 229.
- [20] Phillip Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine: A Case Study of British Sabotage of Science,” *American Almanac* online, 1996, n.p.
- [21] Antognazza (2009), 141.
- [22] Andriesse, *Huygens: Man Behind the Principle*, 278.
- [23] Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine,” 3.
- [24] Trích và minh họa từ Ibid., 6.
- [25] Steven Shapin, “The Invisible Technician,” *American Scientist* 77, no. 6 (1989): 554-63.
- [26] Denis Papin, “A New Method of Obtaining Very Great Moving Powers at Small Cost,” in lại với bản dịch của James Patrick Muirhead, *The Life of James Watt, with Selections from His Correspondence* (New York: D. Appleton, 1859), 136-42, q.v. (1690), 105-6.
- [27] Ibid., 108-9 (tran. ed.).
- [28] Sigvard Strandh, *A History of the Machine* (New York: A&w, 1979), 115.
- [29] Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine,” 10.
- [30] Ibid.

[31] Papin, “A New Method of Obtaining,” trong Muirhead, *The Life of James Watt*, 106.

[32] Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine,” 10.

[33] *Recueil de diverses Pieces touchant quelques nouvelles Machines, &c.* Par Mr. D. Papin, Dr. en., Med. &c. A Cassel, 1695.

[34] *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 19 (1695-1697): 481.

[35] Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine,” 11.

[36] Thomas Savery, *The Miner’s Friend; or, An Engine to Raise Water by Fire, Described. And of the Manner of Fixing It in Mines; With an Account of the Several Other Uses It is Applicable Unto; and an Answer to the Objections Made Against It* (London: S. Crouch, 1702), A4.

CHƯƠNG BA

[1] Bernard Forest de Belidor, *Architecture hydraulique, ou L'art de Conduire, d'Élever et de Ménager les Eaux*, vol. 2 (Paris: Chez L. Cellot, 1782), 309.

[2] Papin nhận ra: khi ông viết cho Leibniz vào ngày 23 tháng 7 năm 1705: xem bản dịch, Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine,” 14.

[3] Landes (1969), 101.

[4] Valenti, “Leibniz, Papin, and the Steam Engine, 19 (chữ in nghiêng của tôi).

[5] H. w. Robinson, “Denis Papin (1647— 1712),” *Notes and Records of the Royal Society of London* 5, no. 1 (October 1947): 49.

[6] Rhys Jenkins, “The Heat Engine Idea in the Seventeenth Century: A Contribution to the History of the Steam Engine,” *Transactions of the Newcomen Society* 17 (1937): 9.

[7] Robinson, “Denis Papin,” 49.

[8] Richard L. Hills, *Power from Steam: A History of the Stationary Steam Engine* (Cambridge: Cambridge University Press, 1989), 16.

[9] Ibid.; Savery, *Miner's Friend*.

[10] Rhys Jenkins, “Savery, Newcomen and the Early History of the Steam Engine,” pt. 2, *Transactions of the Newcomen Society* 4, no. 1 (1923): 116.

[11] Tòa nhà York, “Queen Annes Palace”: Hills, *Power from Steam*, 16.

[12] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 198.

[13] L. T. C. Rolt, *Thomas Newcomen: The Prehistory of the Steam Engine* (Dawlish, UK: David and Charles, 1963), 39.

- [14] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 175.
- [15] Rolt, *Thomas Newcomen*, 42-48.
- [16] Are Waerland, “Marten Triewald and the First Steam Engine in Sweden,” *Transactions of the Newcomen Society* 7, no. 1 (1926): 24ff.
- [17] Rolt, *Thomas Newcomen*, 51.
- [18] Robert H. Thurston, *A History of the Growth of the Steam-Engine*, 2nd rev. ed. (New York: D. Appleton, 1884), 60.
- [19] Hills, *Power from Steamy* 25.
- [20] Dorothy Wordsworth, *Journals of Dorothy Wordsworth* biên soạn. William Knight, vol. 1 (London: Macmillan, 1904), 177.
- [21] Jenkins, “Savery, Newcomen,” pt. 2., 119.
- [22] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 238-39; Jenkins, “Savery, Newcomen,” pt. 2., 119; John s. Allen, “Thomas Newcomen,” *DNB* online, 4.
- [23] Anthony Burton, *Richard Trevithick: Giant of Steam* (London: Aurum Press, 2000), 9.
- [24] Galloway, *Annals of Coal Mining* 241. Galloway lấy ví dụ về mỏ Griff ở Warwickshire.
- [25] *Ibid.*, 241.
- [26] *Ibid.*
- [27] John S. Allen, “The Introduction of the Newcomen Engine, 1710-1733: Second Addendum,” *Transactions of the Newcomen Society* 45 (1972): 223.
- [28] Harry Kitsikopoulos, “The Diffusion of Newcomen Engines, 1706-73: A Reassessment,” *Economic History Association* online, 2013, 9.

[29] Galloway, *Annals of Coal Mining* 151.

[30] Ba nghĩa vụ cổ xưa - *trinoda necessitas*: Sidney Webb và Beatrice Webb, *English Local Government: The Story of the King's Highway* (London: Longmans, Green, 1913), 5.

[31] *Fyne Morrisons Itinerary or Ten Years Travel throughout Great Britain and other Parts of Europe* (1617), trích từ Ezra M. Stratton, *The World on Wheels; or, Carriages, with Their Historical Associations from the Earliest to the Present Time* (New York: được xuất bản bởi tác giả, 1878), 272.

[32] Webb và Webb, *English Local Government*, 68.

[33] Galloway, *Annals of Coal Mining*) 156.

[34] Charles E. Lee, *The Evolution of Railways*, tái bản lần 2. (London: Railway Gazette, 1943), 29.

[35] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 169.

[36] M. J. T. Lewis, *Early Wooden Railways* (London: Routledge & Kegan Paul, 1970), 86.

[37] John Taylor (1623), *The World runnes on Wheeles; or, Oddes betwixt Carts and Coaches* (London: Henry Gosson), trích từ Stratton, *The World on Wheels*, 278.

[38] Nef, *Rise of British Coal*) 28.

[39] Joe Earp, “Huntingdon Beaumont and Britain’s First Railway,” đội bí mật của Nottingham (online), sửa đổi lần cuối ngày 3 tháng 9 năm 2012.

[40] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 224.

[41] Lee, *Evolution of Railways*, 65.

[42] Ibid., 28.

[43] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 250.

[44] Ibid., 249.

[45] E. A. Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 2010), 16.

[46] Emyr Thomas, *Coalbrookdale and the Darby Family: The Story of the World's First Industrial Dynasty* (York, UK: Sessions Book Trust, 1999), 4-5.

[47] Ibid., 13.

[48] Ibid., 44.

[49] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 259.

[50] Thomas, *Coalbrookdale and the Darby Family*, 28.

[51] Lee, *Evolution of Railways*, 57.

[52] Thomas, *Coalbrookdale and the Darby Family*, 28.

[53] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 248.

[54] Thomas, *Coalbrookdale and the Darby Family*, 35.

[55] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 259.

[56] Ibid., 245.

CHƯƠNG BỐN

[1] David Clarke, *Reflections on the Astronomy of Glasgow: A Story of Some Five Hundred Years* (Edinburgh: Edinburgh University Press, 2013), 57.

[2] Trong khả năng nghiên cứu của tôi, George Muirheid (1715-1773) là một bà con của mẹ Watt, Agnes, neé Muirheid.

[3] Jennifer Tann, “James Watt,” *DNB* online, 2.

[4] Hills, *Power from Steam*, 57.

[5] *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 38 (1733): 303.

[6] Hills, *Power from Steam*, 64.

[7] Clarke, *Reflections on the Astronomy of Glasgow*, 58.

[8] Eric Robinson và A. E. Musson, *James Watt and the Steam Revolution: A Documentary History* (New York: Augustus M. Kelley, 1969), 24.

[9] Muirhead, *Life of James Watt*, 48.

[10] *Ibid.*, 46.

[11] George Williamson, *Memorials of the Lineage, Early Life, Education, and Development of the Genius of James Watt* (Greenock, Scot.: In riêng cho câu lạc bộ Watt, 1856), 162.

[12] William Rosen, *The Most Poweiful Idea in the World: A Story of Steam, Industry & Invention* (Chicago: University of Chicago Press, 2010), 97n.

[13] Clarke, *Reflections on the Astronomy of Glasgow*, 58.

[14] Eric Robinson và Douglas McKie, *Partners in Science: Letters of James Watt and Joseph Black* (London: Constable, 1970), 411.

[15] Muirhead, *Life of James Watt* 59.

[16] Ibid.

[17] Ibid., 59-60.

[18] Ibid.

[19] Muirhead, *Life of James Watt* 60.

[20] Robinson và McKie, *Partners in Science*, 431.

[21] Jones (2014), 197.

[22] Robinson và McKie, *Partners in Science*, 434.

[23] Muirhead, *Life of James Watt* 37.

[24] Ibid., 33.

[25] Hills (2002), vol. 1, 13.

[26] Muirhead, *Life of James Watt* 52.

[27] Ibid., 63-64.

[28] Joseph Black, *Lectures on the Elements of Chemistry: Delivered at the University of Edinburgh*, ed., John Robison, vol. 1 (Philadelphia: Mathew Carey, 1807), 150.

[29] Black, *Lectures*, vol. 1, 151.

[30] Muirhead, *Life of James Watt* 64.

[31] Jones (2014), 203.

[32] Hills (2002), 340. Watt đã viết một lá thư cho một người bạn mô tả ý tưởng về một bình ngưng rời vào ngày 29 tháng 4 năm 1765.

[33] Muirhead, *Life of James Watt* 67.

[34] Ibid., 74. Nguyên văn in nghiêng.

[35] Ibid., 52-53. Muirhead đã “tiếp nước nóng tùy ý”, không phải là cách làm hợp lý.

[36] Ibid., 53.

[37] Ibid., 54.

[38] Ibid., 67.

[39] Boulton phản hồi Watt, ngày 7 tháng 2 năm 1769, trích từ Robinson và Musson, *James Watt and the Steam Revolution*, 62.

[40] Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution*, 38.

[41] *Dublin Weekly Journal*, ngày 9 tháng 8 năm 1729. In lại trong *The Works of Jonathan Swift*, ed. Walter Scott. Boston: Houghton, Mifflin, vol. VII, p. 217.

[42] John Farey, *A Treatise on the Steam Engine, Historical, Practical, and Descriptive* (London: Longman, Rees, Orme, Brown, and Green, 1827), 444n.

[43] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 301.

[44] Frank Dawson, *John Wilkinson: King of the Ironmasters*, ed. David Lake (Stroud, UK: History Press, 2012), 67.

[45] Smiles, *Industrial Biography*, 128.

[46] L. F. Loree, “The First Steam Engine of America.” *Transactions of the Newcomen Society* 10 (1931): 21; John Fitch: Shagena, Jack L. *Who*

Really Invented the Steamboat? Fultons Clermont Coup (Amherst, NY: Humanity Books, 2004), 171 ff.

CHƯƠNG NĂM

[1] Francis Espinasse, *Lancashire Worthies* (London: Simpkin, Marshall, 1874), 272.

[2] Risking Gibraltar: Rolt (1963), 29.

[3] Glen Atkinson, “The Bridgewater Beginning” trong “Bridgewater 250: The Archeology of the World s First Industrial Canal,” University of Salford Applied Archaeology Series 1, biên tập. Michael Nevell and Terry Wyke (Manchester, UK: Trung tâm Khảo cổ học ứng dụng, Đại học Salford, 2012).

[4] Glen Atkinson, “Bartons Aqueducts,” in Ibid.

[5] Atkinson, Ibid., 78.

[6] Cyril T. G. Boucher, *James Brindley, Engineer, 1716-1772*(Norwich, UK: Goose and Son, 1968), 51-52.

[7] Nevell và Wyke, “Bridgewater 250”, 7. Boucher, James Brindley, 63, dài bốn mươi sáu dặm.

[8] Nevell và Wyke, “Bridgewater 250,” 4.

[9] Charles K. Hyde, *Technological Change and the British Iron Industry, 1700-1870* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1977), 62.

[10] Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution*, 102-3.

[11] Arthur Raistrick, *Dynasty of Iron Founders: The Darbys and Coalbrookdale* (Newton Abbot, UK: David & Charles, 1970), 176

[12] Lee, *Evolution of Railways*, 61.

[13] Janet M. Hartley, Paul Keenan, và Dominic Lieven, eds., *Russia and the Napoleonic Wars (War, Culture and Society, 1750-1850)* (London: Palgrave Macmillan, 2015), 53.

- [14] Anthony Dawson, trao đổi cá nhân, ngày 25 tháng 2 năm 2016.
- [15] Francis Trevithick, *Life of Richard Trevithick, with an Account of His Inventions*, vol. 1 (London: E. & F. N. Spon, 1872), 63-64.
- [16] Ibid., 67ff.
- [17] Ibid., 73.
- [18] Burton, *Richard Trevithick*, 59.
- [19] Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 93.
- [20] Ibid., 63.
- [21] Roland Thorne, “Francis Basset,” *DNB* online.
- [22] Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 103.
- [23] H. W. Dickinson và Arthur Titley, *Richard Trevithick: The Engineer and the Man* (Cambridge: Cambridge University Press, 1934), 46-47.
- [24] “Từ việc không nhận ra và không hiểu được những điểm yếu của đường sắt mà thí nghiệm của Trevithick đã chỉ ra rõ ràng hàng triệu bảng đã bị lãng phí trong việc tránh các đường nghiêng và đường cong trên đường sắt có thể dễ dàng đi qua với đầu máy và đoàn xe toa của nó.” Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 139.
- [25] Ibid., 107.
- [26] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 48.
- [27] Bảng sáng chế của Trevithick và Vivian năm 1802 được in lại đầy đủ trong Ibid., phụ lục 1, 269ff.
- [28] Ibid., 54.
- [29] Ibid., 57, trích dẫn góc nhìn của Vivian.

[30] Mùa thu 1803: không rõ ngày, nhưng có thể là tháng 5 hoặc tháng 6, có thể như Joan M. Eyles viết trong “William Smith, Richard Trevithick, and Samuel Homfray: Their Correspondence on Steam Engines, 1804-1806,” *Transactions of the Newcomen Society* 43, no. 1 (1970): 138, cũng không phải là tháng 1 năm 1803 như Francis Trevithick nói trong *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 144, vì động cơ và nồi hơi được vận chuyển đến London vào tháng 8 năm 1803.

[31] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 57.

[32] Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 144.

[33] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 51.

[34] Ibid., 57.

[35] Burton, *Richard Trevithick*, 81.

[36] Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 143-44.

[37] Loughnan St. L. Pendred, “The Mystery of Trevithicks London Locomotives,” *Transactions of the Newcomen Society* 1 (1922): 35.

[38] Trevithick, *Life of Richard Trevithick*, vol. 1, 143.

[39] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 60.

[40] Ibid.

[41] Ibid., 61.

[42] Burton, *Richard Trevithick*, 87.

[43] Stanley Mercer, “Trevithick and the Merthyr Tramroad,” *Transactions of the Newcomen Society* 26 (1953): 102.

[44] Burton, *Richard Trevithick*, 89. Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 63 tuổi, đặt cược cho Homfray và Anthony Hill, một thợ luyện

sắt khác, nhưng theo Burton, trên thực tế, Hill mới là người giữ tiền cược và là trọng tài.

[45] Burton, Richard Trevithick, 89-90.

[46] Ibid., 90-91.

[47] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 64-65.

[48] Burton, *Richard Trevithick*, 94.

[49] Dickinson and Titley, *Richard Trevithick*, 67.

[50] Arthur Titley, “Richard Trevithick and the Winding Engine,” *Transactions of the Newcomen Society* 10 (1929): 55-68, p. 61.

[51] Dickinson và Titley, *Richard Trevithick*, 107.

[52] Ibid., 109.

[53] Ibid.

CHƯƠNG SÁU

- [1] Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution*, 100.
- [2] Ibid., 111.
- [3] Ibid., 71.
- [4] From William Wordsworth, “Composed upon Westminster Bridge, September 3, 1802.”
- [5] *Dorothy Wordsworth’s Journals*, vol. 6, 144.
- [6] Webb và Webb, *English Local Government*, 144. Nguyên văn in tiếng.
- [7] Thomas de Quincey, “The Nation of London,” *Autobiographic Sketches*. Ch. 7.
- [8] Tám kiện vào năm 1784: Stephenson và Locke trong James Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway, on the Comparative Merits of Locomotive and Fixed Engines, as a Moving Power* (with Stephenson, Robert, và Joseph Locke, *Observations on the Comparative Merits of Locomotive and Fixed Engines, as Applied to Railways*; và Booth, Henry, *An Account of the Liverpool and Manchester Railway*) (Philadelphia: Carey & Lea, 1831), 126. 53% vào năm 1806: Stanley Chapman, “British exports to the USA, 1776-1914: Organization and Strategy (3) Cottons and Printed Textiles,” table 2, 34.
- [9] Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution*, 36.
- [10] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 304.
- [11] Smiles, *Industrial Biography*, 108.
- [12] Erasmus Darwin, *The Botanic Garden*, pt. 1, dòng 289-92.
- [13] *The Papers of George Washington*, Confederation Series, vol. 2, 18 July 1784-18 May 1785, ed. W. W. Abbot. Charlottesville: University

Press of Virginia, 1992, 425-29.

[14] Wrigley, *Energy and the English Industrial Revolution*, 3.

[15] Theo Tomlinson (1858) là năm 1800, như các nguồn sau này; nhưng theo William Thomas, *Observations on Canals and Rail-Ways, Illustrative of the Agricultural and Commercial Advantages to be Derived from an Iron Rail-way, Adapted to Common Carriages, Between Newcastle, Hexham, and Carlisle* (Newcastle upon Tyne, UK: G. Angus, 1825), nguồn mà Tomlinson tham khảo, thì đó là năm 1805.

[16] Thomas, *Observations on Canals and Rail-Ways*, 10.

[17] Ibid., 12.

[18] Ibid., 18.

[19] Ibid., 26.

[20] Ibid., 28.

[21] William H. Brown, *The History of the First Locomotives in America from Original Documents and the Testimony of Living Witnesses* (New York: D. Appleton, 1871), 37.

[22] Lee, *Evolution of Railways*, 75.

[23] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 369-70.

[24] Ibid., 382.

[25] Ibid., 379.

[26] Brown. *History of the First Locomotives*, 45.

[27] Theo Thomas Summerside, *Anecdotes, Reminiscences, and Conversations, of and with the Late George Stephenson, Father of Railways* (London: Bemrose and sons, 1878), 2, là tháng 7, nhưng cả DNB

và w. o. Skeat, *George Stephenson: The Engineer and His Letters* (London: Học viện Kỹ sư Cơ khí, 1973), 13, đầu ghi là tháng 6.

[28] Summerside, *Anecdotes, Reminiscences, and Conversations, of and with the Late George Stephenson*, 2.

[29] Ibid., 5.

[30] L. T. c. Rolt, *George and Robert Stephenson: The Railway Revolution* (Stroud, UK: Amberley, 2016), 23-24.

[31] Ibid., 24-25.

[32] Lee, *Evolution of Railways*, 89; ngày 25 tháng 7 năm 1814: Summerside, *Anecdotes, Reminiscences, and Conversations, of and with the Late George Stephenson*, 8.

[33] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 384.

[34] Samuel Smiles, *The Life of George Stephenson, Railway Engineer*. 3rd ed., rev. (London: John Murray, 1857), 86-87.

[35] Christopher McGowan, *The Rainhill Trials: The Greatest Contest of Industrial Britain and the Birth of Commercial Rail*(London: Little, Brown, 2004), 320, n. 29.

[36] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 367.

[37] Ibid., 444.

[38] Robert Stevenson, “Report of a Proposed Railway from the Coal-field of Mid- Lothian to the City of Edinburgh” được trích dẫn đầy đủ trong Chương 7 của David Stevenson, *Life of Robert Stevenson* (Edinburgh: Adam and Charles Black, 1878).

[39] Lee, *Evolution of Railways*, 89.

[40] Galloway, *Annals of Coal Mining*, 452-53.

[41] *Notes and Extracts on the History of the London & Birmingham Railway*, ch. 4 (<http://gerald-massey.org.uk/Railway/c04route.htm>).

[42] McGowan, *Rainhill Trials*, 144.

[43] Rolt, *George and Robert Stephenson*, 110.

[44] Smiles, *Life of George Stephenson*, 222. Nguyễn văn in nghiêng.

[45] *Ibid.*, 226.

[46] Great Britain, *Proceedings of the Committee of the House of Commons on the Liverpool and Manchester Railroad Bill: Sessions, 1825*, 205.

[47] *Ibid.*, 242.

[48] Mô tả này được trích từ “Chat Moss Crossing, L&M Railway,” Engineering Timelines online.

[49] Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway*, 170; Smiles, *Life of George Stephenson*, 235.

[50] Smiles, *Life of George Stephenson*, 250-51.

[51] *Ibid.*, 251.

[52] *Ibid.*, 253-54.

[53] Smiles, *Industrial Biography*, 285ff.

[54] Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway*, 137.

[55] *Ibid.*, Appendix: General Abstract of Expenditure to 31st May 1830, 199.

[56] *Ibid.*, 205.

[57] Skeat, *George Stephenson: Letters*, 116.

[58] Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway*, 51.

[59] *Ibid.*, 51-52.

[60] Skeat, *George Stephenson: Letters*, 118.

[61] McGowan, *Rainhill Trials*, 321.

[62] *Ibid.*

[63] *Ibid.*, 321-22.

[64] *Ibid.*, 322.

[65] Dendy Marshall, “The Rainhill Locomotive Trials of 1829,” *Transactions of the Newcomen Society* 9, no. 1 (1928): 85. Minh họa về sự kiện thường chỉ xuất hiện một lần.

[66] Booth, *An Account of the Liverpool and Manchester Railway*, 182, in trong Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway*, 182.

[67] Richard Gibbon, *Stephensons Rocket and the Rainhill Trials* (Oxford: Shire, 2010), 20-21.

[68] Marshall, “Rainhill Locomotive Trials of 1829,” 87.

[69] McGowan, *Rainhill Trials*, 197-98.

[70] Marshall, “Rainhill Locomotive Trials of 1829,” 88.

[71] Walker, *Report to the Directors of the Liverpool and Manchester Railway*, 194-97.

CHƯƠNG BẢY

[1] Gilbert White, *The Natural History of Selhorne* (New York: Harper & Brothers, 1841; xuất bản lần đầu năm 1789), 231-32.

[2] Ibid., 232.

[3] Ibid.

[4] Ibid., 232-33.

[5] W. T. O'Dea, "Artificial Lighting Prior to 1800 and Its Social Effects," *Folklore* 62, no. 1 (1951): 315.

[6] Jenny Uglow, *The Lunar Men: Five Friends Whose Curiosity Changed the World* (New York: Farrar, Straus and Giroux, 2002).

[7] Jane Brox, *Brilliant: The Evolution of Artificial Light* (Boston: Houghton Mifflin Harcourt, 2010), 21.

[8] John Stow, *A Survey of London*, rev. 1603 (Dover, UK: Alan Sutton, 1994), 125.

[9] Desmond King-Hele, *Erasmus Darwin: A Life of Unequalled Achievement* (London: DLM, 1999), 18.

[10] Brox, *Brilliant*, 29.

[11] Alec Campbell, "Archibald Cochrane," *DNB* online, p. 1; chin bằng sáng chế: Luter (2005), p. 3.

[12] Campbell, 1-3.

[13] Ibid., 5.

[14] John Sugden, "Lord Cochrane, Naval Commander, Radical, Inventor (1775-1860): A Study of His Earlier Career, 1775-1818" (PhD diss., Department of History, University of Sheffield, 1981), 14.

[15] Charles Hunt, *A History of the Introduction of Gas Lighting* (London: Walter King, 1907), 18.

[16] Sugden, “Lord Cochrane,” 28.

[17] Campbell, 4.

[18] Archibald Clow and Nan Clow, “Lord Dundonald,” *Economic History Review* 12: nos. 1 and 2 (1942): 49.

[19] Leslie Tomory, *Progressive Enlightenment: The Origins of the Gaslight Industry, 1780–1820* (Cambridge, MA: MIT Press, 2012), 29.

[20] *Ibid.*, 32.

[21] *Gas Age-Record*, 13 December 1924, 828.

[22] John c. Griffiths, “William Murdoch,” *DNB* online.

[23] John Griffiths, *The Third Man: The Life and Times of William Murdoch, 1754-1839, the Inventor of Gas Lighting* (London: Andre Deutsch, 1992), 102.

[24] Griffiths, “William Murdoch,” *DNB* online.

[25] Tomory, *Progressive Enlightenment*, 74.

[26] Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 40.

[27] William Murdoch, “An Account of the Application of Gas from Coal to Economical Purposes,” *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 98 (1808): 130.

[28] Griffiths, *Third Man*, 242-52.

[29] *Ibid.*, 245.

[30] Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 42. Hunt (41) nghĩ rằng người viết h ấ ký là Henry Creighton.

[31] Griffiths, *Third Man*, 244; đèn xách tay: Ibid., 248.

[32] Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 49.

[33] Trevor H. Levere, “Dr. Thomas Beddoes: Chemistry, Medicine, and the Perils of Democracy,” *Notes and Records of the Royal Society of London* 63 (2009): 216.

[34] Dorothy A. Stansfield và Ronald G. Stansfield, “Dr. Thomas Beddoes and James Watt: Preparatory Work 1794-96 for the Bristol Pneumatic Institute,” *Medical History* 30, no. 3 (tháng 7 năm 1986): 283.

[35] Ibid.

[36] Ibid.

[37] Ibid., 284.

[38] Thomas Beddoes và James Watt, *Considerations on the Medicinal Use of Factitious Airs, and on the Manner of Obtaining Them in Large Quantities* (Bristol, UK: J. Johnson, 1794), 2.

[39] Ibid.

[40] Ibid., 3.

[41] Mike Jay, *The Atmosphere of Heaven: The Unnatural Experiments of Dr. Beddoes and His Sons of Genius* (New Haven, CT: Yale University Press, 2009), 172.

[42] Ibid., 183.

[43] Ibid., 176.

[44] Ibid., 192.

[45] Ibid., 212.

[46] Ibid.

[47] Ibid., 214.

[48] Tomory, *Progressive Enlightenment*, 75.

[49] Ibid., 7-8.

[50] 1792, National Reward: Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 50.

[51] Griffiths, *Third Man*, 241.

[52] Ibid.

[53] Tomory, *Progressive Enlightenment*, 76.

[54] Ibid., 77.

[55] Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 63-64.

[56] Griffiths, *Third Man*, 249.

[57] J. J. Mason, "George Augustus Lee," *DNB* online.

[58] William Murdoch," *Electric Scotland* online.

[59] Griffiths, *Third Man*, 255.

[60] Hunt, *Introduction of Gas Lighting*, 61.

[61] Ibid., 129.

[62] Edward Stoops Thompson, *The History of Illuminating Gas in Baltimore* (Records of Phi Mu, special Collections, University of Maryland Libraries online, 1928), 5.

[63] Christopher J. Castaneda, *Invisible Fuel: Manufactured and Natural Gas in America, 1800-2000* (New York: Twayne, 1999), 14-15.

[64] Ibid., 16-17.

[65] Thompson, *History of Illuminating Gas in Baltimore*, 9.

[66] Ibid.

[67] Christopher Castaneda, “Manufactured and Natural Gas Industry,” EH.Net online.

CHƯƠNG TÁM

[1] Thomas Jefferson, “Observations on the Whale Fishery,” 1791, 12, Jefferson Papers, Avalon Project, Yale Law School Lillian Goldman Law Library online.

[2] David Tedone, ed., *A History of Connecticut's Coast*, US Department of Commerce pamphlet, 14 (online).

[3] Lydia s. Hinchman, *Early Settlers of Nantucket: Their Associates and Descendants*, 2nd ed. và enl. ed. (Philadelphia: Ferris & Leach, 1901), 3-4.

[4] Ibid., 7-8.

[5] Ibid., 9-11.

[6] Văn hóa truyền miệng của người Wampanoag: theo Nanepashemet, giám đốc Chương trình Wampanoag tại Plimoth. Xem Nantucket Historical Association (NHA) online, “A Report on the NHA Symposium: Nantucket and the Native American Legacy of New England,” *Historic Nantucket* 44, no. 3 (Winter 1996): 98-100.

[7] Timothy J. Lapore trong Ibid.

[8] Alexander Starbuck, *History of the American whale Fishery from Its Earliest Inception to the Year 1876* (Waltham, MA: được xuất bản bởi tác giả, 1878), 23.

[9] Lance E. Davis, Robert E. Gallman, and Karin Gleiter, *In Pursuit of Leviathan: Technology, Institutions, Productivity, and Profits in American Whaling, 1816-1906* (Chicago: University of Chicago Press, 1997), 36-37.

[10] Starbuck, *History of the American Whale Fishery*, 57.

[11] Gerald s. Graham, “The Migrations of the Nantucket Whale Fishery: An Episode in British Colonial Policy,” *New England Quarterly* 8, no. 2 (1935): 182.

[12] Starbuck, *History of the American Whale Fishery*, 77.

[13] William Rotch, ghi chép do William Rotch mười tám tuổi viết vào năm 1814, trong John M. Bullard, *The Rotches* (in riêng, 1947), 187; bốn nghìn tấn dầu cá nhà táng, £300.000: Graham, “Migrations of the Nantucket Whale Fishery,” 184.

[14] Bullard, *The Rotches*, 188.

[15] Eric Jay Dolin, *Leviathan: The History of Whaling in America* (New York: w. w. Norton, 2007), 173.

[16] Bullard, *The Rotches*, 188.

[17] Bullard, *The Rotches*, 189.

[18] John Adams, *The Works of John Adams*, vol. 8., ed. Charles Francis Adams (Boston, Little, Brown, 1853), 308.

[19] Ibid.

[20] Ibid., 313.

[21] Bullard, *The Rotches*, 189.

[22] Ibid.

[23] Ibid., 190. Từ văn bản này thành “Có, tôi đã trả lời, nhưng với sự tiếc nuối trong lòng”: Ibid., 190-91.

[24] Starbuck, *History of the American Whale Fishery*, 80n.

[25] Thomas Jefferson (1791) “Report on the American Fisheries by the Secretary of State,” 3. Hereafter “Jefferson Report (1791)”

[26] Ibid., 10.

[27] Thomas Jefferson (1789), “Observations on the Whale Fishery,” Avalon Project, Yale Law School, n.p. (online).

[28] Ibid.

[29] Davis, Gallman, and Gleiter, *In Pursuit of Leviathan*, 37.

[30] Dolin, *Leviathan*, 418, n. 38, trích dẫn nguồn thế kỷ 19. Đây không phải là tàu *Beaver* của Rotches trong sự kiện Tiệc trà Boston. Tàu *Rebecca*, của New Bedford, cũng ra khơi vào năm 1791.

[31] Michael Dyer, nhà sử học hàng hải cao cấp, Bảo tàng Cá voi New Bedford, trao đổi cá nhân, ngày 21 tháng 6 năm 2016.

[32] “Embargo of 1807,” Monticello online, www.monticello.org/site/research-and-collections/embargo-1807, trích dẫn *Oxford Companion to American History*, 404.

[33] Graham, “Migrations of the Nantucket Whale Fishery,” 199; Starbuck, *History of the American whale Fishery*, 95.

[34] Starbuck, *History of the American Whale Fishery*, 95.

[35] Ibid., 56.

[36] Alice Ford, *The 1826 Journal of John James Audubon* (Norman: University of Oklahoma Press, 1967), 69.

[37] Edouard A. Stackpole, “Peter Folger Ewer: The Man Who Created the ‘Camels,’” *Historic Nantucket* 33, no. 1 (tháng 7 năm 1985): n.p.

CHƯƠNG CHÍN

[1] Camphene on Minnesota frontier, “a possible source of supply”: Evadene A. Burris, “Keeping House on the Minnesota Frontier,” *Minnesota History* 14, no. 3 (1933): 266-67.

[2] Teresa Dunn Hutchins, “The American Whale Fishery, 1815-1900: An Economic Analysis” (Luận án Tiến sĩ, Khoa Kinh tế, Đại học North Carolina ở Chapel Hill, 1988), 46.

[3] B. Ghobadian và H. Rahimi, “Biofuels-Past, Present and Future Perspective,” *Proceedings of the Fourth International Iran & Russia Conference in Agriculture and Natural Resources* (Shahrekord, Iran: University of Shahrekord, 2004), 782.

[4] W. W. Ashe, *The Forests, Forest Lands, and Forest Products of Eastern North Carolina. North Carolina Geological Survey Bulletin No. 5* (Raleigh, NC: Josephus Daniels, State Printer and Binder, 1894), 59.

[5] Ibid., 73-74.

[6] Kent Wrench, ed., *Tar Heels: North Carolinas Forgotten Economy: Pitch, Tar, Turpentine and Longleaf Pines* (Charleston, SC: CreateSpace, 2014), 19.

[7] 7,5 triệu đô-la: Ashe, *Forests, Forest Lands, and Forest Products*, 76; North Carolina hơn 5 triệu đô-la: Wrench, *Tar Heels*, 26.

[8] Ashe, *Forests, Forest Lands, and Forest Products*, 76.

[9] Gray, (2008), 11.

[10] Kendall Beaton, “Dr. Gesners Kerosene: The Start of American Oil Refining.” *Business History Review* 29, no. 1 (1955): 31-32.

[11] Coal oil from bitumen: Ibid., 34.

[12] Abraham Gesner, *A Practical Treatise on Coal, Petroleum, and Other Distilled Oils*, 2nd ed., rev. và enl. bởi George Weltden Gesner

(New York: Bailliere Brothers, 1865), 9; theo Paul Lucier, *Scientists & Swindlers: Consulting on Coal and Oil in America, 1820-1890* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2008), 43, là “vào mùa hè năm 1847.”

[13] Beaton, “Dr. Gesners Kerosene,” 37.

[14] Lucier, *Scientists & Swindlers*, 43.

[15] Beaton, “Dr. Gesners Kerosene,” 38-39.

[16] Lucier, *Scientists & Swindlers*, 147.

[17] Beaton, “Dr. Gesners Kerosene,” 43.

[18] Ibid., 43-44.

[19] Gesner, *Practical Treatise on Coal, Petroleum, and Other Distilled Oils*, 10.

[20] Beaton, “Dr. Gesners Kerosene,” 50.

[21] Lucier, *Scientists & Swindlers*, 155.

[22] Early 1860 coal-oil production: Ibid., 156.

[23] A. Howard Clark, “The American Whale-Fishery 1877-1886,” *Science* ns-9, no. 217S (1887): 321.

[24] William R. Brice, *Myth Legend Reality: Edwin Laurentine Drake and the Early Oil Industry* (Oil City, PA: Oil City Alliance, 2009), 56.

[25] Benjamin Silliman Sr., ed., “Notice of a Fountain of Petroleum, Called the Oil Spring,” *American Journal of Science and Arts* 23 (January 1833): 100.

[26] Ibid., 101-2.

[27] J. T. Henry, *The Early and Later History of Petroleum, with Authentic Facts in Regard to Its Development in Western Pennsylvania*

(Philadelphia: Jas. B. Rodgers, 1873), 346-47.

[28] Paul H. Giddens, ed., *Pennsylvania Petroleum 1750-1872: A Documentary History* (Titusville: Pennsylvania Historical and Museum Commission, 1947), 46.

[29] *Ibid.*, 45-46.

[30] *Ibid.*, 46.

[31] Charles Henry Bell, *The Bench and Bar of New Hampshire: Including Biographical Notices of Deceased Judges of the Highest Court, and Lawyers of the Province and State, and a List of Names of Those Now Living* (Boston: Houghton Mifflin, 1894), 292-93.

[32] Giddens, *Pennsylvania Petroleum 1750-1872*, 46-47.

[33] *Ibid.*, 54.

[34] Henry, *Early and Later History of Petroleum*, 67.

[35] Brooks Mather Kelley, *Yale: A History* (New Haven, CT: Yale University Press, 1974), 183.

[36] Noted in Leonard G. Wilson, ed., *Benjamin Silliman and his Circle: Studies on the Influence of Benjamin Silliman on Science in America* (New York: Science History, 1979), 175.

[37] *Ibid.*, 176.

[38] Lucier, *Scientists dr Swindlers*, 197.

[39] Benjamin Silliman Jr., *Report on the Rock Oil, or Petroleum, from Venango Co., Pennsylvania, with special Reference to Its Use for Illumination and Other Purposes* (New Haven, CT: J. H. Benham, 1855), 6-7.

[40] *Ibid.*, 7-8.

[41] Ibid., 9.

[42] Lucier, *Scientists & Swindlers*, 198 (chữ in nghiêng là của Silliman).

[43] Ibid., 200.

[44] Brice, *Myth Legend Reality*, 264.

[45] Ibid., 91-96, 116-22, toàn tác phẩm.

[46] Ibid., 226.

[47] Giddens, *Pennsylvania Petroleum*, 56.

[48] Brice, *Myth Legend Reality*, 258.

[49] Ibid., 223.

[50] Ibid., 302.

[51] Ibid., 285.

[52] Ibid., 302.

[53] Ibid., 306.

[54] Ibid.

[55] Ibid., 309.

[56] Ibid., 306-7, 309-11.

[57] Vị trí của giếng Drake đầu tiên: xem bản đồ đương thời.

[58] Brice, *Myth Legend Reality*, 501.

[59] Giddens, *Pennsylvania Petroleum*, 75.

[60] Ibid., 68.

[61] Brice, *Myth Legend Reality*, 312-13; Giddens, *Pennsylvania Petroleum 1750-1872*, 75.

[62] Brian Black, *Petrolia: The Landscape of Americas First Oil Boom* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2000), 32.

[63] Brice, *Myth Legend Reality*, 321.

CHƯƠNG MƯỜI

[1] Paul H. Giddens, *The Birth of the Oil Industry* (New York: Macmillan, 1938), 90.

[2] Tarbell, *History of Standard Oil*, 15.

[3] Một nghìn thùng mỗi ngày: Harold F. Williamson và Arnold R. Daum, *The American Petroleum Industry: The Age of Illumination, 1859-1899* (Evanston, IL: Northwestern University Press, 1959), 107-8. Chỉ một phần nhỏ được vận chuyển: rõ rĩ: Ibid., 108.

[4] Giddens, *Birth of the Oil Industry*, 105-6.

[5] Ibid., 108.

[6] Williamson và Daum, *American Petroleum Industry*, 108.

[7] Giddens, *Birth of the Oil Industry*, 76-78.

[8] Ibid., 111-12.

[9] Ibid., 144-45.

[10] Ibid., 95.

[11] Percival Perry, “The Naval-Stores Industry in the Old South, 1790-1860,” *Journal of Southern History* 34, no. 4 (1968): 525.

[12] Rufus Frost Herrick, *Denatured or Industrial Alcohol: A Treatise on the History, Manufacture, Composition, Uses, and Possibilities of Industrial Alcohol in the Various Countries Permitting its Use, and the Laws and Regulations Governing the Same, Including the United States* (New York: John Wiley & Sons, 1907), 16.

[13] 37th Congress, Sess. II, Ch. 119, ngày 1 tháng 7 năm 1862, 432.

[14] Ibid., 447; tăng lên 2 đô-la: Thomas B. Ripy, *Federal Excise Taxes on Beverages: A Summary of Present Law and a Brief History*,

Congressional Research Service Report RL30238 (Washington, DC: Library of Congress, 1999), 4.

[15] Herrick, *Denatured or Industrial Alcohol*, 16.

[16] William Kovarik, “Henry Ford, Charles F. Kettering, and the Fuel of the Future,” *Automotive History Review* 32 (mùa xuân năm 1998): n. 22.

[17] Davis, Gallman, và Gleiter, *In Pursuit of Leviathan*, 38.

[18] Từ bài thơ “Thuyền trưởng Semmes, C. A. S. N.,” của George H. Boker, đăng lần đầu trên *Philadelphia Press*, được ghi lại trong *Mr. Merrymans Monthly*, một tạp chí hài New York, tháng 10 năm 1864, 265.

[19] Stephen Fox, *Wolf of the Deep: Raphael Semmes and the Notorious Confederate Raider* css Alabama (New York: Vintage, 2007).

[20] *Ibid.*, 45.

[21] *Ibid.*, 46. Fox trích dẫn từ một phóng viên của *Times*, người đã quan sát chiếc *Sumter* từ Gibraltar.

[22] Raphael Semmes, *Memoirs of Service Afloat During the War Between the States* (Secaucus, NJ: Blue & Grey Press, 1987; xuất bản lần đầu năm 1868), 345.

[23] *Ibid.*, 423; Fox, *Wolf of the Deep*, mười lăm tuổi, nói rằng tàu *Alabama* treo cờ của Anh.

[24] Semmes, *Memoirs of Service*, 431.

[25] Baldwin và Powers (2007) kể câu chuyện này: 247-51.

[26] Zeph w. Pease và George A. Hough, *New Bedford, Massachusetts: Its History, Industries, Institutions, and Attractions*, ed. William L. Sayer (New Bedford, MA: New Bedford Board of Trade, 1889), 31.

[27] Clark, “American Whale-Fishery 1877-1886,” 321.

[28] Black, *Petrolia*, chương. 2, cho một thảo luận đầy đủ về quyền bắt giữ và “The Tragedy of the Commons” của Hardin.

[29] Joseph w. Dellapenna, “The Rise and Demise of the Absolute Dominion Doctrine for Groundwater,” *University of Arkansas at Little Rock Law Review* 35, no. 2 (2013): 273.

[30] Tóm tắt phiên xử, *Pierson V. Post*, 3 Cai. R. 175, 2 Am. Dec. 264 (N.Y. 1805), www.lawnix.com.

[31] Joseph w. Dellapenna, “A Primer on Groundwater Law,” *Idaho Law Review* 49 (2012): 272, từ *Westmoreland Cambria Nat. Gas Co. V. Dewitt*, 18 A. 724, 725 (Pa. 1889).

[32] *Acton V. Blundell*, (1843) 152 Eng. Re 1223 (Exch. Chamber). *The English Reports: Exchequer*, ed. w Green, 1915, 1233.

[33] Garrett Hardin, “The Tragedy of the Commons,” *Science* 162, no. 3859 (ngày 13 tháng 12 năm 1968): 1243-48.

[34] *Ibid.*, 1244.

[35] Ida M. Tarbell, *All in the Days Work: An Autobiography* (Boston: G. K. Hall, 1985; xuất bản lần đầu năm 1939 bởi Macmillan), 9.

[36] Giddens, *Birth of the Oil Industry*, 192-93.

CHƯƠNG MƯỜI MỘT

[1] Online Library of Liberty: *The Works of Benjamin Franklin*, vol. 2, *Letters and Misc. Writings 1735-1753*, 125.

[2] Benjamin Franklin, *Experiments and Observations on Electricity Made at Philadelphia in America* (London: E. Cave, 1751), 34.

[3] Ibid., 34-35.

[4] Benjamin Franklin, *The Papers of Benjamin Franklin*, vol. 5, *July 1, 1753, Through March 31, 1755*, ed. Leonard W. Labaree (New Haven, CT: Yale University Press, 1962), 126.

[5] Joseph Priestley, *The History and Present State of Electricity, with Original Experiments*, vol. 1., 3rd ed. (London: C. Bathurst et al., 1769), 204.

[6] Luigi Galvani, *Commentary on the Effect of Electricity on Muscular Motion (De Viribus Electricitatis in Motu Musculari Commentarius)*, dịch. Robert Montraville Green (Cambridge, MA: Elizabeth Licht, 1953; xuất bản lần đầu năm 1791). Tôi đã biên tập lại bản dịch này cho rõ ràng hơn.

[7] Marcello Pera, *The Ambiguous Frog: The Galvani-Volta Controversy on Animal Electricity*, trans. Jonathan Mandelbaum (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1992), nhất là chương 4.

[8] Ibid., 101.

[9] Ibid., 105-6.

[10] Ibid., 111.

[11] Ibid.

[12] Anon., “Royal Institution.” *The Philosophical Magazine* 35 (1810) 146:463.

[13] *Recherches sur l'identité des forces chimiques et electriques.*

[14] Oersted lưỡng trước khó khăn: khi ông làm chứng sau đó, viết về bản thân mình dưới góc nhìn người thứ ba, “Trong một thời gian dài, ông tưởng tượng rằng sẽ khó khăn hơn để xác nhận ý tưởng này bằng các thí nghiệm nhưng sau này hóa ra lại không phải. Trích dẫn trong Robert c. Stauffer, “Speculation and Experiment in the Background of Oersteds Discovery of Electromagnetism,” *Aw* 48, no. 1 (1957): 44.

[15] *Ibid.*, 45.

[16] *Ibid.*, 44.

[17] *Ibid.*, 45.

[18] Dibner (1962), 71; Stauffer, “Oersteds Discovery of Electromagnetism,” 45.

[19] L. Pearce Williams, *Michael Faraday: A Biography* (New York: Da Capo, 1965), 28-30.

[20] Michael Brian Schiffer, *Power Struggles: Scientific Authority and the Creation of Practical Electricity Before Edison* (Cambridge, MA: MIT Press, 2008), 50.

[21] *Ibid.*, 51.

CHƯƠNG MƯỜI HAI

- [1] Tiếng Mohawk *ohnyá-kara ĩ*: "Niagara," Từ điển tiếng Anh *Oxford*.
- [2] Edward Dean Adams, *Henry Adams of Somersetshire, England, and Braintree, Mass.: His English Ancestry and Some of His Descendants* (New York: in riêng, 1927), 6.
- [3] Gần 88.000 dặm vuông: Adams, Henry Adams, 16; vượt quá hai feet: Ibid., 19.
- [4] Ibid., 41-48.
- [5] W. Grylls Adams, "The Scientific Principles Involved in Electric Lighting." *Journal of the Franklin Institute* (November 1881): 364.
- [6] Ibid., 279.
- [7] Peter A. O'Conner, "Energy Transitions," *Pardee Paper* online, ngày 12 tháng 11 năm 2010, 3.
- [8] Adams, "Scientific Principles" (tháng 11 năm 1881), 364.
- [9] Laurence A. Hawkins, *William Stanley (1858-1916) - His Life and Work* (New York: Newcomen Society of North America, 1951), 22.
- [10] William Stanley, "Alternating-Current Development in America," *Journal of the Franklin Institute* 173, no. 6 (1912): 561-62.
- [11] Henry G. Prout, *A Life of George Westinghouse* (New York: American Society of Mechanical Engineers, 1921), 91.
- [12] Robert Friedel và Paul Israel, *Edisons Electric Light: Biography of an Invention* (New Brunswick, NJ: Rutgers University Press, 1986), 177.
- [13] Elihu Thomson và Edwin J. Houston, "On the Transmission of Power by Means of Electricity," *Journal of the Franklin Institute* (January 1879): 36.

- [14] Stanley, “Alternating-Current Development,” 561.
- [15] Hawkins, *William Stanley*, 10.
- [16] Ibid.
- [17] Stanley, “Alternating-Current Development,” 566-67.
- [18] George Wise, “William Stanleys Search for Immortality,” *Invention and Technology* 4, no. 1 (1988): (online), n.p.
- [19] Bằng sáng chế về ánh sáng điện cơ bản của Edison: Bằng sáng chế Mỹ số 223.898, nộp ngày 4 tháng 11 năm 1879. Trích từ Friedel và Israel, *Edisons Electric Light*, 105.
- [20] Hiram S. Maxim, *My Life* (London: Methuen, 1915), 120.
- [21] Hawkins, *William Stanley*, 12.
- [22] Ibid., 12-13.
- [23] Maxim, *My Life*, 152.
- [24] Moran (2002), 48; Prout, *George Westinghouse*, 92 (không có tài liệu).
- [25] Prout, *George Westinghouse*, 92.
- [26] Dây tóc Leucine: Bằng sáng chế Mỹ số 316.302, nộp ngày 4 tháng 9 năm 1884, cấp ngày 21 tháng 4 năm 1885; Hawkins, *William Stanley*, 15.
- [27] Stanley, “Alternating-Current Development,” 567.
- [28] Ibid.
- [29] Ibid.
- [30] Ibid., 568.

[31] Ibid.

[32] Ibid.

[33] Ibid., 569.

[34] Ibid., 570.

[35] Ibid.

[36] Hai mươi sáu máy biến áp: Ibid., 571; “gắn trên thiết bị cách điện”: Ibid., 570; 4.000 feet dây dẫn: Ibid., 572; 500 volt lên 3.000 volt rồi xuống 500 volt: Ibid., 572, nguyên văn là “dòng điện tạo ra [đã] biến đổi từ 500 lên 3.000 volt và từ 3.000 trở lại 500 vôn, và *sau đó được gửi qua đường dây trung tâm thành phố?* (Tôi nhấn mạnh.) Các sử gia sau này cũng trích như vậy, nhưng vô nghĩa: Tại sao lại tăng cường điện áp chỉ để hạ nó xuống *trước* khi truyền nó? Sự thật rằng Stanley có máy biến áp để giảm dòng điện được lắp đặt trong tầng hầm của các tòa nhà trung tâm thành phố đã phủ nhận trình tự mà ông báo cáo. Giả sử ông ấy chỉ đơn giản là nói nhảm thì tôi đã sửa nó ở đây. Xem thêm Cummings C. Chesney, “Some Contributions to the Electrical Industry,” *Electrical Engineering* 52, no. 12 (1933): 727: Năm 1886, William Stanley, trong nhà máy điện xoay chiều đầu tiên ở Mỹ, được ông thiết kế và chế tạo tại Great Barrington, Mass., đã trình diễn làm thế nào mà năng lượng điện có thể được tạo ra ở điện áp thấp, biến đổi thành điện áp cao hơn, được truyền ở điện áp cao hơn, được truyền lại thành điện áp thấp hơn và được sử dụng ở điện áp này trong khả năng cho phép. (Tôi nhấn mạnh.)

[37] Stanley, “Alternating-Current Development,” 572.

[38] Hawkins, *William Stanley*, 20.

[39] Ibid.

[40] Ibid.

[41] Stanley, “Alternating-Current Development,” 574.

[42] David B. Rushmore và Eric A. Lof. *Hydro-Electric Power Stations*, 2nd ed. (New York: John Wiley & Sons, 1923), 5.

[43] Chesney, “Some Contributions to the Electrical Industry,” 728.

[44] Rushmore và Lof, *Hydro-Electric Power Stations*, 7.

[45] Ibid., 7-8.

[46] Ibid., 9.

[47] Kênh đào sức nước: Adams, *Henry Adams*, vol. 1, 69ff; dự án của Buffalo: Ibid., 97.

[48] Ibid., 101.

[49] Ibid., 101-5.

[50] Ibid., 106, n. 1.

[51] Ibid., 122-23.

[52] Ibid., 144.

[53] “Golden Jubilee,” *Time* online, ngày 27 tháng 5 năm 1929, n.p.

[54] Tiểu sử Adams: Irene D. Neu, “Adams, Edward Dean,” *American National Biography Online*, cha làm nghề bán tạp hóa: Điều tra dân số Mỹ, 1880.

[55] “Golden Jubilee”; sáu tháng để khảo sát: Ibid.; một nửa lãi dự án: Adams, *Henry Adams*, vol. 1, 141.

[56] Adams, *Henry Adams*, vol. 1, 149.

[57] “Golden Jubilee,” *Time* online, ngày 27 tháng 5 năm 1929, n.p.

[58] Adams, *Henry Adams*, vol. 1, 146-47.

[59] Ibid., 403.

[60] Ibid., 156-60.

[61] Ibid., 171-72.

[62] Ibid., 172-73.

[63] Coleman Sellers, “The Utilization of the Power of Niagara Falls and Notes on Engineering Progress,” *Journal of the Franklin Institute* (tháng 7 năm 1891): 34.

[64] Adams, *Henry Adams*, vol. 1, 365.

[65] “Adams Plant,” Tesla tại Bảo tàng Niagara online, www.teslaniagara.org.

[66] Nhà máy điện thứ hai: Adams, *Henry Adams*, vol. 2, 75; tổng 100.000 mã lực: Ibid., 181.

CHƯƠNG MƯỜI BA

[1] Clay McShane và Joel A. Tarr, *The Horse in the City: Living Machines in the Nineteenth Century* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2007), 16.

[2] Ann Norton Greene, *Horses at Work: Harnessing Power in Industrial America* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2008), 184.

[3] McShane và Tarr, *Horse in the City*, 60.

[4] Greene, *Horses at Work*, 179.

[5] McShane và Tarr, *Horse in the City* (2007), 63-64.

[6] Greene, *Horses at Work* (2008), 178.

[7] McShane và Tarr, *Horse in the City*, trang bìa.

[8] Alvin Howard Sanders, *A History of the Percheron Horse* (Chicago: Breeders Gazette Print, 1917), 34-54.

[9] McShane và Tarr, *Horse in the City*, 128-29.

[10] Ibid., 133-34.

[11] Ibid., 135-36.

[12] Gregory T. Cushman, *Guano and the opening of the Pacific World: A Global Ecological History* (Cambridge: Cambridge University Press, 2013), 25.

[13] *American Farmer*, ngày 24 tháng 12 năm 1824, 317.

[14] Humphry Davy, *The Collected Works*, vol. 8, *Agricultural Lectures*, pt. 2, ed. John Davy (London: Smith, Elder, 1840), 26.

[15] *American Farmer*, ngày 24 tháng 12 năm 1824, 316.

[16] D. J. Browne, *The Field Book of Manures; or, the American Muck Book* (New York: A. o. Moore, 1858), 282.

[17] Ben Perley Poore, “Biographical Notice of John S. Skinner,” *The Plough, the Loom, and the Anvil* 7, no. 1 (1854): 11.

[18] John James von Tschudi, *Travels in Peru, on the Coast, in the Sierra, Across the Cordilleras and the Andes, into the Primeval Forests*, trans. Thomasina Ross, ấn bản mới. (New York: A. s. Barnes, 1854), 169.

[19] G. Evelyn Hutchinson, “The Biogeochemistry of Vertebrate Excretion (Survey of Contemporary Knowledge of Biogeochemistry),” *Bulletin of the American Museum of Natural History* 96: 1950. New York: By Order of the Trustees. (1950), 40. 20. Mann (2011), 4.

[20] Hutchinson, “Biogeochemistry of Vertebrate Excretion,” 70.

[21] Justus Liebig, *Familiar Letters on Chemistry and Its Relation to Commerce, Physiology, and Agriculture*, ed. John Gardner (London: Taylor and Walton, 1844), letter 16.

[22] Hutchinson, “Biogeochemistry of Vertebrate Excretion,” 34, chú giải E. w. Middendorf, *Peru* (Berlin: R. Oppenheim, 1984), không trang nào được trích dẫn.

[23] Hutchinson, “Biogeochemistry of Vertebrate Excretion,” 28.

[24] George Washington Peck, trích từ Ibid., 37.

[25] Nicholas Wade, “Testing Links Potato Famine to an Origin in the Andes,” *New York Times*, ngày 7 tháng 6 năm 2001; J. B. Ristaino, “Tracking Historic Migrations of the Irish Potato Famine Pathogen, *Phytophthora infestans*,” *Microbes and Infection* 4 (2002): 1369-76.

[26] Naomi Rogers, “Germs with Legs: Flies, Disease, and the New Public Health,” *Bulletin of the History of Medicine* (Winter 1989): 602, n. 7.

[27] Ibid., 601.

[28] Greene, *Horses at Work*, 249.

[29] Frank J. Sprague, “The Solution of Municipal Rapid Transit,” *American Institute of Electrical Engineers Transactions* 5 (1887): 177.

[30] McShane và Tarr, *Horse in the City*, 171.

[31] Greene, *Horses at Work*, 175.

[32] Ibid., 261-62.

CHƯƠNG MƯỜI BỐN

[1] John W. Graham, *The Destruction of Daylight: A Study of the Smoke Problem* (London: George Allen, 1907), 1.

[2] Paul Warde, *Energy Consumption in England & Wales 1560-2000* (Naples, It.: Consiglio Nazionale delle Ricerche, Istituto di Studi sulle Società del Mediterraneo, 2007), 38.

[3] O'Connor, "Energy Transitions," 3.

[4] Graham, *Destruction of Daylight*, 4.

[5] Ian Douglas, Rob Hodgson, và Nigel Lawson, "Industry, Environment and Health Through 200 Years in Manchester," *Ecological Economics* 41 (2002): 235- 55), 246.

[6] David Stradling, *Smokestacks and Progressives: Environmentalists, Engineers, and Air Quality in America, 1881-1951* (Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1999), 6.

[7] A. E. Outerbridge Jr., "The Smoke Nuisance and Its Regulation, with Special Reference to the Condition Prevailing in Philadelphia," *Journal of the Franklin Institute* 143, no. 66 (1897): 396-97.

[8] H. R. Anderson, "Air Pollution and Mortality: A History," *Atmospheric Environment* 43 (2009): 143.

[9] Stradling, *Smokestacks and Progressives*, 7.

[10] Outerbridge Jr., "Smoke Nuisance and Its Regulation," 397-98.

[11] Trollope (1862), vol. 2, 60.

[12] Frederick Moore Binder, *Coal Age Empire: Pennsylvania Coal and Its Utilization to 1860* (Harrisburg: Pennsylvania Historical and Museum Commission, 1974), 22.

[13] Trollope (1862), vol. 2, 60.

[14] Angela Gugliotta, “Class, Gender, and Coal Smoke: Gender Ideology and Environmental Justice in the City: A Theme for Urban Environmental History,” *Environmental History* 5, no. 2 (2000): 165.

[15] Robert Louis Stevenson, *Strange Case of Dr. Jekyll and Mr. Hyde* (London: Longmans, Green, 1886), 52.

[16] Văn phòng thống kê chiến lược quốc gia, trích từ www.cdc.gov/nchs/data/dvs/lead1900-98.pdf.

[17] *Crime and Justice Atlas 2000*, Hiệp hội Nghiên cứu Tư pháp và dữ liệu online, www.jrsa.org, 38.

[18] David A. Waples, *The Natural Gas Industry in Appalachia: A History from the First Discovery to the Tapping of the Marcellus Shale*, tái bản lần 2. (Jefferson, NC: McFarland, 2012), 21.

[19] Tussing và Barlow (1984), 29.

[20] Waples, *Natural Gas Industry in Appalachia*, 45.

[21] Ibid., 48.

[22] Ibid., 49.

[23] Ibid., 52.

[24] Cliff I. Davidson, “Air Pollution in Pittsburgh: A Historical Perspective,” *Journal of the Air Pollution Control Association* 29, no. 10 (1979): 1038.

[25] “The Costs and Benefits of Prevention,” Editorial, *Journal of Public Health Policy* 1, no. 4 (1980): 286.

[26] *UN World Population Prospects: The 2015 Revision*, Table s.11: Ten Countries with the Highest and the Lowest Life Expectancy at Birth, p. 44 (online).

CHƯƠNG MƯỜI LĂM

[1] Chi tiết về xe bốn bánh: Richard Snow, *I Invented the Modern Age: The Rise of Henry Ford* (New York: Scribner, 2013), 56-59. Xăng nhiên liệu: một số trang web tuyên bố xe bốn bánh chạy bằng cồn. Trung tâm nghiên cứu Henry Ford xác nhận rằng đó là xăng nhiên liệu. Trung tâm nghiên cứu Henry Ford, Lauren s., trao đổi cá nhân, ngày 25 tháng 1 năm 2017.

[2] Snow, *Rise of Henry Ford*, 39.

[3] Hiram Percy Maxim, *Horseless Carriage Days* (New York: Harper & Brothers, 1937), 4.

[4] Ô tô năm 1896: xem hình ảnh ô tô Mỹ đời đầu, WWW.earlyamericanautomobiles.com.

[5] Xe Stanley Steamer 1898: David A. Kirsch, “The Electric Car and the Burden of History: Studies in Automotive Systems Rivalry in America, 1890-1996” (PhD diss., Stanford University, 1996), 65; “trong số 4.192 xe”: Rudy Volti, *Cars and Culture: The Life Story of a Technology*(Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2004), 7.

[6] Maxim, *Horseless Carriage Days*, 61.

[7] Ibid., 113.

[8] Charles c. McLaughlin, “The Stanley Steamer: A Study in Unsuccessful Innovation,” *Explorations in Environmental History* 7, no. 1 (1954): 40.

[9] Volti, *Cars and Culture*, 667.

[10] McLaughlin, “Stanley Steamer,” 40.

[11] Pedro G. Salom, “Automobile Vehicles,” *Journal of the Franklin Institute* 141, no. 4 (1896): 290.

[12] Ibid., 289.

[13] McLaughlin, “Stanley Steamer,” 38.

[14] Maxim, *Horseless Carriage Days*, 131.

[15] Dịch lở m ãm long móng ở New England năm 1914: Kirsch, “Electric Car and Burden of History,” 50. Kirsch ghi nhận dịch bùng phát vào “mùa xuân năm 1914”. Phần lớn các ngu ờn ghi nhận trong tháng 10. Nó kéo dài hai năm. Ví dụ, CQ Press CQ Researcher online, “Dịch lở m ãm long móng”.

[16] Kirsch, “Electric Car and Burden of History,” 76.

[17] Eric Morris, “From Horse Power to Horsepower,” *Access30* (Spring 2007): 8.

[18] Paul G. Irwin, “Overview: The State of Animals in 2001,” trong *The State of the Animals 2001*, ed. D. J. Salem và A. N. Rowan (Washington, DC: Humane Society Press, 2001), 8.

[19] H. E. Barnard, “Prospects for Industrial Uses of Farm Products,” *Journal of Farm Economics* 20 (1938): 119.

[20] David Blume, *Alcohol Can Be a Gas! Fueling an Ethanol Revolution for the 21st Century* (Santa Cruz, CA: International Institute for Ecological Agriculture, 2007), 11.

[21] Có thể xem các tính năng nhiên liệu của Model T trên video do David Blume lưu trữ tại Fuel Freedom Foundation online, WWW.fueelfreedom.org, hoặc trên bất kỳ bảo tàng nào có Model T.

[22] Carolyn Dimitri và Anne Effland, “Fueling the Automobile: An Economic Exploration of Early Adoption of Gasoline over Ethanol,” *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 5, no. 2 (2007), 7.

[23] T. A. Boyd, *Professional Amateur: The Biography of Charles Franklin Kettering* (New York: E. p. Dutton, 1957), 98.

[24] Charles F. Kettering, “More Efficient Utilization of Fuel” (SAE technical paper 190010, 1919), 204.

[25] Alan W. Peters, William H. Flank, và Burtron H. Davis, “The History of Petroleum Cracking in the 20th Century,” ch. 5 in *Innovations in Industrial and Engineering Chemistry*, ed. William H. Flank, Martin A. Abraham, và Michael A. Matthews. American Chemical Society Symposium Series (Washington, DC: American Chemical Society, 2009), 104.

[26] Ibid., 105.

[27] William Kovarik, “Charles E Kettering and the Development of Tetraethyl Lead in the Context of Alternative Fuel Technologies” (SAE Technical Paper 941942, 1994), n.p.

[28] Bằng sáng chế phụ gia tỉ lệ cao: Bằng sáng chế Mỹ số 1.296.832, nộp ngày 7 tháng 1 năm 1918, cấp ngày 11 tháng 3 năm 1919 cho Thomas Midgley Jr.

[29] Ric Deverell và Martin Yu, *Reversing a 60-Year Trend, Exhibit 2: Real Corn and Wheat Prices, 1900–2010*, Credit Suisse Commodities Research, ngày 2 tháng 2 năm 2011, www.credit-suisse.com/researchandanalytics.

[30] L. H. Bean và P. H. Bollinger, “The Base Period for Parity Prices,” *Journal of Farm Economics* 21, no. 1 (1939): 253.

[31] Kovarik, “Charles F. Kettering,” 6.

[32] Xem chú thích 28 ở trên. Bằng sáng chế thực ra thảo luận về dầu hỏa, nhưng không đưa ra bất kỳ loại hydrocarbon nào.

[33] Cảm ơn Bill Kovarik vì đã khám phá ra mối liên hệ này: Kovarik, “Charles F. Kettering,” 6.

[34] Wolfrom (1958), 149.

[35] Harold Hibbert, “The Role of the Chemist in Relation to the Future Supply of Liquid Fuel,” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 13 (1921): 841.

[36] Ibid.

[37] Ibid.

[38] “New Solvent Dissolves Rubber; Universal Solvent Sought by Scientists Through Ages May Be Found,” Lincoln, NE, ngày 28 tháng 2 năm 1921.

[39] Leo H. Baekeland, “The Synthesis, Constitution, and Uses of Bakelite,” *Industrial and Engineering Chemistry* 1 (1909): 150. Bằng sáng chế bakelite: số 942.699, cấp ngày 7 tháng 12 năm 1909.

[40] Boyd, *Professional Amateur*, 144.

[41] Alan p. Loeb, “Birth of the Kettering Doctrine: Fordism, Sloanism and the Discovery of Tetraethyl Lead,” *Business and Economic History* 24, no. 1 (1995): 81; tốt hơn gấp năm lần, gấp hai mươi lần: Boyd, *Professional Amateur*, 145.

[42] Boyd, *Professional Amateur*, 145.

[43] Kettering, “More Efficient Utilization of Fuel,” 205.

[44] Stanton P. Nickerson, “Tetraethyl Lead: A Product of American Research,” *Journal of Chemical Education*, no. 11 (1954): 562.

[45] Hélio Elael Bonini và Paulo Alves Porto, “Thomas Midgley, Jr., and the Development of New Substances: A Case Study for Chemical Educators,” *Journal of Chemical Education* 90 (2013): 1634.

[46] Boyd, *Professional Amateur*, 146, thêm sự nhấn mạnh.

[47] Pha loãng tỉ lệ 1/1000: Kovarik, “Charles E Kettering,” n.[8]; Kettering nói rằng ngày hôm đó là đi đầu xúc động nhất: Boyd, *Professional*

Amateur, 146.

[48] Boyd, *Professional Amateur*, 147.

[49] Thomas Midgley Jr., “Tetraethyl Lead Poison Hazards,” *Industrial and Engineering Chemistry* 17, no. 8 (1925): 828.

[50] Dietmar Seyferth, “The Rise and Fall of Tetraethyllead [sic] 2,” *Organometallics* 22, no. 25 (2003): 5157.

[51] Nickerson, “Tetraethyl Lead,” 566.

[52] 52Terry Reed, *Indy: The Race and the Ritual of the Indianapolis 500* (Washington, DC: Potomac Books, 2005), 20.

[53] Loeb, “Birth of the Kettering Doctrine,” 82.

[54] Kovarik, “Charles F. Kettering,” 10.

[55] Midgley, “Tetraethyl Lead Poison Hazards,” 827.

[56] Alice Hamilton, Paul Reznikoff và Grace M. Burnham, “Tetraethyl Lead,” *Journal of the American Medical Association* 84, no. 20 (1925): 1482.

[57] Alice Hamilton, *Exploring the Dangerous Trades: The Autobiography of Alice Hamilton, M.D.* (Boston: Little, Brown, 1943), 416.

[58] Kovarik, “Charles F. Kettering,” 14.

[59] *Ibid.*, 11.

[60] Kovarik, “Charles E Kettering”, 11.

[61] Hamilton, Reznikoff và Burnham, “Tetra-ethyl Lead,” 1486.

[62] *Ibid.*, 1485.

[63] Kovarik, “Charles E Kettering”, 16.

[64] Kettering đến châu Âu gặp tổng y sĩ: Ibid. Cuộc gặp vào tháng 5 năm 1925: Hamilton, *Exploring the Dangerous Trades*, 415-16.

[65] Kovarik, “Charles E Kettering”, 17.

[66] Ibid., 18.

[67] Ibid., trích một báo cáo về hội nghị trên tờ *New York World*.

[68] Ibid., 19.

[69] Ibid., 11.

[70] Ủy ban Tư vấn Dịch vụ Y tế Công cộng Hoa Kỳ về Chì Tetraethyl cho Tổng y sĩ Mỹ (1959), 15.

[71] Ibid., 10.

[72] Hibbert, “Role of the Chemist,” 841.

CHƯƠNG MƯỜI SÁU

[1] Jacques Connan et al., “The Archeological Bitumens of Bahrain from the Early Dilmun Period (c. 2200 BC) to the Sixteenth Century AD: A Problem of Sources and Trade,” *Arabian Archeology and Epigraphy* 9, no. 2 (tháng 11 năm 1998): 141-81.

[2] Scott McMurray, *Energy to the World: The Story of Saudi Aramco* (Houston: Aramco Services, 2011), 26.

[3] McMurray, *Energy to the World*, 29.

[4] Anthony Cave Brown, *Oil, God, and Gold: The Story of Aramco and the Saudi Kings* (Boston: Houghton Mifflin, 1999), 23.

[5] Daniel Yergin, *The Prize: The Epic Quest for Oil, Money, and Power* (New York: Simon & Schuster, 1991), 286.

[6] Brown, *Oil, God, and Gold*, 23.

[7] Sản xuất dầu toàn cầu: McMurray, *Energy to the World*, 23; số lượng ô tô: “State Motor Vehicle Registrations, by Years, 1900-1995,” US Department of Transportation Federal Highway Administration online.

[8] “Oklahoma Oil Prices Soar to Seventy Cents,” *Chicago Tribune*, ngày 23 tháng 8 năm 1931, 1.

[9] Wallace Stegner, *Discovery! The Search for Arabian Oil* (1971; repr., Vista, CA: Selwa Press, 2007), 10-11.

[10] K. S. Twitchell, *Saudi Arabia: With an Account of the Development of its Natural Resources* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 1947), 149-50.

[11] Đàm phán kết thúc vào cuối tháng 5 năm 1933; vào ngày 29 tháng 5: Ibid., 151.

[12] Saudi Arabia Brief History, n.p. (online).

[13] Stegner, *Discovery!*, 29.

[14] Yergin, *The Prize*, 292.

[15] “New Oil-Field in Saudi Arabia,” *Standard Oil Bulletin*, ngày 1-12 tháng 9 năm 1936, 3.

[16] Stegner, *Discovery!*, 29.

[17] Yergin, *The Prize*, 292.

[18] Stegner, *Discovery!*, 30, ghi là 320.000 dăm vuông; Twitchell, *Saudi Arabia*, 142, ghi là 140.000 dăm vuông, có lẽ là một phần của một khu vực lớn hơn mà Stegner trích dẫn.

[19] Stegner, *Discovery!*, 31.

[20] Mái vòm Dammam, cuối tháng 9: Ibid., 35; Twitchell, *Saudi Arabia*, 152; Robert Vitalis, *Americas Kingdom: Mythmaking on the Saudi Oil Frontier* (Stanford, CA: Stanford University Press, 2007), 59.

[21] Đối với phiên bản anh hùng ca, xem Stegner, *Discovery!* Muốn biết phiên bản thực tế, xem Vitalis, *America's Kingdom*.

[22] Stegner, *Discovery!*, 74, 79-80.

[23] Ibid., 89.

[24] Ibid., 93-95.

[25] Ibid., 95-96.

[26] Ibid., 97.

[27] Ibid., 102-3.

[28] Ibid., 103.

[29] Ibid., 115.

[30] Dammam số 7 chảy: Ibid., 118; Sultan Al-Sughair, “Well No. 7 That Established KSA on World Oil Map,” *Arab News*, ngày 1 tháng 8 năm 2015, www.arabnews.com.

[31] Ibid.

[32] McMurray, *Energy to the World*, 90.

[33] Ibid.

[34] Bằng sáng chế hàn đầu tiên của Mỹ, số 363.320, cấp ngày 17 tháng 5 năm 1887.

[35] Christopher James Tassava, “Launching a Thousand Ships: Entrepreneurs, War Workers, and the State of American Shipbuilding, 1940-1945” (Luận án Tiến sĩ, Northwestern University, Evanston, IL, 2003), 32.

[36] Xem bảng, “Cramp Shipbuilding, Philadelphia, Pa.,” tại www.shipbuildinghistory.com/shipyards/large/cramp.htm.

[37] Shelly Terry, “New Arrival at Ashtabula Maritime and Surface Transportation Museum,” *Ashtabula (OH) Star Beacon* online, ngày 21 tháng 12 năm 2014.

[38] William Lowell Putnam, *The Kaiser’s Merchant Ships in World War I* (Jefferson, NC: McFarland), Kindle location (hereafter KL) 2277.

[39] Báo cáo số bốn trong James Caldwell, *Report to the United States Shipping Board Emergency Fleet Corporation on Electric Welding and its Application in the United States of America to Ship Construction* (Philadelphia: Emergency Fleet Corporation, 1918), 67.

[40] Putnam, *Kaiser’s Merchant Ships*, KL 2380.

[41] Báo cáo số bốn trong Caldwell, *Report to the United States Shipping Board*, 67.

[42] André A. Odermatt, *Welding: A Journey to Explore Its Past* (Troy, OH: Hobart Institute of Welding Technology, 2010), 133.

[43] “Secretary Daniels Urges the Need for More Ships,” *Official Bulletin*, ngày 19 tháng 2 năm 1918, 2.

[44] Caldwell, *Report to the United States Shipping Board*, 66.

[45] *Ibid.*, 5.

[46] *Ibid.*, 26.

[47] *Ibid.*, 144.

[48] “The Coming of the Rivetless Steel Ship,” *American Marine Engineer* 13, no. 10 (tháng 10 năm 1918): 12.

[49] Năm 1931: Robert w. Gilmer, “The History of Natural Gas Pipelines in the Southwest,” *Texas Business Review*(1981): 131; máy đào và máy nén khí: Castaneda, *Invisible Fuel*, 85.

[50] Christopher J. Castaneda, *Regulated Enterprise: Natural Gas Pipelines and Northeastern Markets, 1938-1954*(Columbus: Ohio State University Press, 1993), thảo luận về những nhược điểm của khí tự nhiên một cách chi tiết ở trang 15-18.

[51] Castaneda, *Invisible Fuel*, 84.

[52] *Ibid.*, 25, bảng 2.5.

[53] *Ibid.*, 104.

[54] Mỹ chiếm hơn 60% tổng sản lượng dầu thế giới: Arthur J. Brown, “World Sources of Petroleum,” *Bulletin of International News* 17, no. 13 (1940): 769; năng suất hơn một triệu thùng mỗi ngày: “Oil and World Power,” Encyclopedia of the New American Nation online, [www.americanforeignrelations.com/ Oil-and-worl-power.html](http://www.americanforeignrelations.com/Oil-and-world-power.html).

[55] *The Big Inch and Little Big Inch Pipelines*. Houston: Texas Eastern Transmission Corporation, 2000, 8.

[56] *Ibid.*, 5.

[57] *Ibid.*, 9.

[58] Homer H. Hickam Jr., *Torpedo Junction: U-Boat War Off Americas East Coast, 1942* (Annapolis: Naval Institute Press, 1989), 122.

[59] *Ibid.*, 123.

[60] *Ibid.*, 124.

[61] *Big Inch and Little Big Inch Pipelines*, 12.

[62] John E Kiefner và Cheryl J. Trench, “Oil Pipeline Characteristics and Risk Factors: Illustrations from the Decade of Construction,” *American Petroleum Pipeline Committee Publication* (Washington, DC: American Petroleum Institute, 2001), 24.

[63] “War Emergency Pipelines,” ngày 25 tháng 6 năm 1942: *Big Inch and Little. Big Inch Pipelines*, 15.

[64] “Công nhân đào một con mương”: *Ibid.*, 19; con hào đi qua sông Mississippi: *Ibid.*, 25. 65. *Ibid.*, 25.

[65] *Ibid.*, 35.

[66] *Ibid.*, 28.

[67] Sidney A. Swensrud, “Possibility of Converting the Large Diameter War Emergency Pipe Lines to Natural Gas Service After the War,” ngày 21 tháng 2 năm 1944, *AIME Technical Publications & Contributions 1943-1944*. <http://library.aimehq.org/library>, 2.

[68] *Ibid.*

[69] *Ibid.*, 12.

[70] Ibid., 12.

[71] Lewis Stark, “UMW Head Defiant,” *New York Times*, ngày 4 tháng 12 năm 1946, Iff.

[72] Ghi chú của Tổng thống Harry S. Truman, ngày 11 tháng 12 năm 1946, bài viết của Tổng thống Truman-Presidents Secretary’s File, Harry S. Truman Library & Museum online.

[73] Castaneda, *Regulated Enterprise*, 83.

CHƯƠNG MƯỜI BẢY

[1] Enrico Fermi, “Atomic Energy for Power,” in *The Future of Atomic Energy: The George Westinghouse Centennial Forum, May 16, 17, and 18, 1946*, vol. 1 (Pittsburgh: Westinghouse Educational Foundation), 93.

[2] Jeffries, Zay, Enrico Fermi et al., *Prospectus on Nucleonics*(Chicago: Metallurgical Laboratory MUC-RSM-234, 1944), 28 (online).

[3] Ibid.

[4] Chenoweth (1988), 5: “Sử dụng hệ số thu hồi 70% tại các nhà máy, ước tính có 64.000 pound U-308 từ Arizona để sản xuất vũ khí nguyên tử đầu tiên. Mặc dù đi đầu này chỉ phản ánh một phần nhỏ trong tổng sản lượng trong nước [trong thời gian chiến tranh] của 2.698.000 pound U-308... Arizona thường bị bỏ qua trong đóng góp cho dự án Manhattan”.

[5] V. E. McKelvey, “Mineral Resource Estimates and Public Policy: Better Methods for Estimating the Magnitude of Potential Mineral Resources Are Needed to Provide the Knowledge That Should Guide the Design of Many Key Public Policies,” *American Scientist* 60, no. 1 (1972): 32.

[6] Zoellner (2000), 3.

[7] McKelvey, “Mineral Resource Estimates and Public Policy,” 13.

[8] E. L. Berthoud, “On the Occurrence of Uranium, Silver, Iron, etc., in the Tertiary Formation of Colorado Territory,” *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* 27(2), tháng 5-9 năm 1875, p. 365.

[9] Miller và Gill (1954), 36.

[10] “Sparton Produces First Yellowcake from Chinese Coal Ash,” *World Nuclear News* online, ngày 16 tháng 10 năm 2007.

[11] Theodore Rockwell, trao đổi cá nhân.

[12] Theodore Rockwell, *The Rickover Effect: How One Man Made a Difference* (Lincoln, NE: iUniverse, 2002), 27.

[13] Kintner (1959), 2.

[14] Rockwell, *The Rickover Effect*, 44-45.

[15] Richard Rhodes, “A Demonstration at Shippingport: Coming On Line,” *American Heritage* online 32, no. 4 (1981): NB: Tôi không còn sở hữu hồ sơ về tài liệu tham khảo từ nguồn hơn 30 năm tuổi này, một bài báo tôi đã viết cho *American Heritage* năm 1981. Nó dựa trên các cuộc phỏng vấn cũng như nghiên cứu tài liệu và đã được kiểm tra cẩn thận bởi các biên tập viên tạp chí tại thời điểm đó.

[16] Robert S. Norris và Hans M. Kristensen, “Global Nuclear Weapons Inventories, 1945-2010,” *Bulletin of the Atomic Scientists* 66, no. 4 (2010), online.

[17] John Foster Dulles, “The Evolution of Foreign Policy,” trình bày trước Hội đồng Đối ngoại Quốc gia, New York, NY, Bộ Ngoại giao, thông cáo báo chí số 81 (ngày 12 tháng 1 năm 1954).

[18] NSC 162/2, “A Report to the [US] National Security Council by the Executive Secretary on Basic National Security Policy, ngày 30 tháng 10 năm 1953,” Washington, 39b. 1, 22 (online).

[19] “Atoms for Peace Speech,” ngày 8 tháng 12 năm 1953, đăng tại www.iaea.org/about/history/atoms-for-peace-speech.

[20] Martin J. Medhurst, “Atoms for Peace and Nuclear Hegemony: The Rhetorical Structure of a Cold War Campaign,” *Armed Forces & Society* 23, no. 4 (1997): 581.

[21] Thông điệp Eisenhower gửi Quốc hội: ngày 17 tháng 2 năm 1954, trích từ Ibid., 583-84.

[22] Richard Rhodes, *Nuclear Renewal: Common Sense About Energy* (New York: Whittle/Viking, 1993), 35.

[23] L. A. Kotchetkov, “Obninsk: Number One,” *Nuclear Engineering International*: ngày 13 tháng 7 năm 2004, 4, www.neimagazine.com/features.

[24] Rockwell, *The Rickover Effect*, 159-60.

[25] Ibid., 196.

[26] Rhodes, “A Demonstration at Shippingport,” q.v. fn. 15.

[27] Medhurst, “Atoms for Peace,” 580.

[28] Ibid., 581, trích dẫn Ronald E. Powaski, *March to Armageddon: The United States and the Nuclear Arms Race, 1939 to the Present* (New York: Oxford University Press, 1987), 60.

[29] J. C. Clayton, “The Shippingport Pressurized Water Reactor and Light Water Breeder Reactor,” trình bày tại Hội nghị khu vực Trung tâm lần thứ 25, Hiệp hội hóa học Mỹ, Pittsburgh, ngày 4-6 tháng 10 năm 1993, 2 (online).

[30] George Cowan, “A Natural Fission Reactor,” *Scientific American*, tháng 7 năm 1976, toàn tác phẩm.

[31] G. W. Wetherill và M. G. Inghram. “Spontaneous Fission in Uranium and Thorium Ores,” *Proceedings of the Conference on Nuclear Processes in Geologic Settings* (Williams Bay, WI: National Research Council Committee on Nuclear Science, 1953), 31.

[32] P. K. Kuroda, “On the Nuclear Physical Stability of the Uranium Minerals,” *Journal of Chemical Physics* 25, no. 4 (1956): 782.

[33] “Rác thải hạt nhân” của lò phản ứng Gabon: Rockwell (2010),

[34] Cowan, “Natural Fission Reactor,” 45; Francois Gauthier-Lefaye, “2 Billion Year Old Natural Analogs for Nuclear Waste Disposal: The Natural Nuclear Fission Reactors in Gabon (Africa),” *Comptes Rendus R. Physique* 3, nos. 7 and 8 (tháng 9/ tháng 10 năm 2002).

CHƯƠNG MƯỜI TÁM

[1] Benoit Nemery, Peter H. M. Hoet và Abderrahim Nemmar, “The Meuse Valley Fog of 1930: An Air Pollution Disaster,” *Lancet* 357, no. 9257 (ngày 3 tháng 3 năm 2001): 704.

[2] H. H. Schrenk et al., *Air Pollution in Donora, Pa.: Epidemiology of the Unusual Smog Episode of October 1948, Preliminary Report*, Public Health Bulletin no. 306 (Washington, DC: Public Health Service, 1949), 12.

[3] Berton Roueché, “Annals of Medicine: The Fog,” *New Yorker*, ngày 30 tháng 9 năm 1950, 33.

[4] Ibid.

[5] Ibid.

[6] Schrenk et al., *Air Pollution in Donora, Pa.*, iv.

[7] Roueché, “Annals of Medicine: The Fog,” 38.

[8] Ibid., 44.

[9] Ibid., 49.

[10] Schrenk et al., *Air Pollution in Donora, Pa.*, 29.

[11] Ibid., 161-62.

[12] Hồ sơ, ngày 13 tháng 2 năm 1946, trung tá Cooper B. Rhodes, tại Ibid.

[13] “Industrial News: Fluorine Gases in Atmosphere as Industrial Waste Blamed for Death and Chronic Poisoning of Donora and Webster, PA, Inhabitants,” *Chemical and Engineering News* 26, no. 50 (ngày 13 tháng 12 năm 1948): 3692.

[14] Chris Bryson, “The Donora Fluoride Fog: A Secret History of Americas Worst Air Pollution Disaster,” ActionPA.org, sửa đổi lần cuối ngày 2 tháng 12 năm 1998.

[15] “Donora: ‘The Truth Was Concealed,’” *Pittsburgh Observer-Reporter*, ngày 19 tháng 10 năm 2008, tại fluoridealert.org.

[16] Michelle L. Bell và Devra Lee Davis, “Reassessment of the Lethal London Fog of 1952: Novel Indicators of Acute and Chronic Consequences of Acute Exposure to Air Pollution,” *Environmental Health Perspectives* 109, no. 3 (2001): 389.

[17] Christine L. Corton, *London Fog: The Biography* (Cambridge, MA: Harvard University Press, 2015), 280.

[18] Bộ Y tế: Bell và Davis, “Reassessment of the Lethal London Fog of 1952,” 389; tử vong so với cúm: 392, hình. 6.

[19] Corton, *London Fog*, 284.

[20] Đạo luật Không khí Sạch năm 1956: (4 và 5 Eliz. 2 ch. 52).

[21] Giảm 80%: Corton, *London Fog*, 305; sát thủ sương mù 1962: Ibid.; Đạo luật Không khí Sạch năm 1956: Ibid., 309.

[22] “Smog”, Từ điển tiếng Anh Oxford.

[23] McGill et al. (1952), 286.

[24] Haagen-Smit (2000), 20.

[25] Ibid., 23.

[26] Ibid., 23-24.

[27] Chip Jacobs và William J. Kelly, *Smogtown: The Lung-Burning History of Pollution in Los Angeles* (New York: Overlook Press, 2013), 72.

[28] Haagen-Smit (2000), 24.

[29] Haagen-Smit (1950), 10-11.

[30] Ibid., 8.

[31] Haagen-Smit (2000), 24-26.

[32] Jeanne M. Logsdon, “Organizational Responses to Environmental Issues: Oil Refining Companies and Air Pollution,” trong nghiên cứu về chính sách và hiệu quả xã hội của doanh nghiệp, vol. 7, ed. L. E. Preston (Greenwich, CT: JAI Press, 1985), 52.

[33] Richard G. Newell và Kristian Rogers, “The U.S. Experience with the Phasedown of Lead in Gasoline” (tài liệu thảo luận, Washington, DC: Resources for the Future, 2003).

[34] Patrick Louchouart et al., “Elemental and Molecular Evidence of Soot- and Char-Derived Black Carbon Inputs to New York City’s Atmosphere During the 20th Century,” *Environmental Science & Technology* 41, no. 1 (2007): 82-87.

[35] Gene M. Grossman và Alan B. Krueger, “Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement” (tài liệu nghiên cứu 3914, Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 1991), tóm tắt.

[36] Edward B. Barbier, “Introduction to the Environmental Kuznets Curve Special Issue,” *Environment and Development Economics* 2, no. 4 (tháng 11 năm 1997): 372.

[37] J. Martinez-Alier, “The Environment as a Luxury Good or ‘Too Poor to Be Green?’” *Ecological Economics* 13 (1995): 1-10.

[38] Robert J. Gordon, *The Rise and Fall of American Growth: The U.S. Standard of Living Since the Civil War* (Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016), 535.

[39] Robert Higgs, “Wartime Prosperity? A Reassessment of the U.S. Economy in the 1940s,” *Journal of Economic History* 52, no. 1 (1992): 57,

trích từ Gordon, *Rise and Fall of American Growth*, 552.

CHƯƠNG MƯỜI CHÍN

[1] Carson (1962), 1-2.

[2] William Souder, *On a Farther Shore: The Life and Legacy of Rachel Carson* (New York: Crown, 2012), 338.

[3] Jason Lemoine Churchill, “The Limits to Influence: The Club of Rome and Canada, 1968 to 1988” (Luận án Tiến sĩ., University of Waterloo, Waterloo, Ont., 2006), 35.

[4] Souder, *On a Farther Shore*, 278.

[5] Nhi ều cựu chiến binh chỉ tìm kiếm sự giúp đỡ khi đã nghỉ hưu: nhà tâm lý học lâm sàng Ginger Rhodes, trao đổi cá nhân.

[6] Roger Revelle, “Harrison Brown 1917-1986,” *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences* (Washington, DC: National Academy of Sciences, 1994), 55.

[7] Harrison Brown, *The Challenge of Mans Future: An Inquiry Concerning the Condition of Man During the Years That Lie Ahead* (New York: Viking, 1954), 221.

[8] Ibid., 104.

[9] Ibid., 105.

[10] Pierre Desrochers và Christine Hoffbauer, “The Postwar Intellectual Roots of the Population Bomb: Fairfield Osborns ‘Our Plundered Planet’ and William Vogt’s ‘Road to Survival’ in Retrospect,” *Electronic Journal of Sustainable Development* 1, no. 3 (2009): 37-61.

[11] Thomas Malthus, *Essay on Population*, 6th ed., bk. 4, ch. 5 (London: John Murray, 1826), 300-1, trích từ Robert Zubrin, *Merchants of Despair: Radical Environmentalists, Criminal Pseudo-Scientists, and the Fatal Cult of Antihumanism* (New York: Encounter Books, 2013), 6.

[12] Paul R. Ehrlich, *The Population Bomb* (San Francisco: Sierra Club, 1969), 12.

[13] Ibid., 143.

[14] Josue de Castro, *The Geography of Hunger* (Boston: Little, Brown, 1952), 312, trích từ Desrochers và Hoffbauer, “Postwar Intellectual Roots of the Population Bomb,” 54.

[15] Thomas Raymond Wellock, *Critical Masses: Opposition to Nuclear Power in California, 1958-1978* (Madison: University of Wisconsin Press, 1998), 85.

[16] Joseph G. Morone và Edward J. Woodhouse, *The Demise of Nuclear Energy? Lessons for Democratic Control of Technology* (New Haven, CT: Yale University Press, 1989), 53.

[17] Rhodes, *Nuclear Renewal*, 39. Các trích dẫn không được chú thích trong tài liệu tham khảo này, nhưng các nguồn đã được kiểm tra cẩn thận. Một số phần trong chương này lấy từ *Nuclear Renewal*.

[18] Ibid., 40.

[19] Alvin M. Weinberg, “Nuclear Energy and the Environment,” *Bulletin of the Atomic Scientists* 26, no. 6 (1970): 73.

[20] Fran Willekens, “Demographic Transitions in Europe and the World” (working paper WP 2014-004, Max Planck Institute for Demographic Research, 2014), 2 (online).

[21] Weinberg, “Nuclear Energy and Environment,” 69.

[22] Willekens, “Demographic Transitions,” 2.

[23] Weinberg, “Nuclear Energy and Environment,” 79.

[24] M. M. Werner, D. K. Meyers và D. p. Morrison, “Follow-up of CRNL Employees Involved in the NRX Reactor Clean-Up,” nghiên cứu

được trình bày tại Hội nghị thường niên lần thứ ba của Hiệp hội an toàn Hạt nhân Canada, Vancouver, BC, ngày 4 tháng 5 năm 1982 (Chalk River, ont: Phòng thí nghiệm hạt nhân Chalk River), 1; hơn một ngàn đàn ông, hai phụ nữ: Ibid., 2, bảng 1.

[25] Arthur Milnes, “When Jimmy Carter Faced Radioactivity Head-On,” *Ottawa Citizen*, 28 January 2009; “A team of three of us”: Jimmy Carter, *Why Not the Best? Jimmy Carter: The First Fifty Years* (Fayetteville: University of Arkansas Press, 1996; xuất bản lần đầu năm 1975), 54; Peter Jedicke, “The NRX Incident,” Canadian Nuclear Society online, sửa đổi lần cuối năm 1989, www.cns-snc.ca/media/history/nrx.html; Werner, Meyers, và Morrison, “Follow-up of CRNL Employees.”

[26] Werner, Meyers và Morrison, “Follow-up of CRNL Employees,” trang tiêu đề của phần tóm tắt.

[27] Trích từ blog.nader.org; “gần một triệu”: Helen Caldicott, thư gửi *New York Times*, ngày 30 tháng 10 năm 2013.

[28] Lewis L. Strauss, “The H-Bomb and World Opinion: Chairman Strauss’s Statement on Pacific Tests,” *Bulletin of the Atomic Scientists* 10, no. 5 (May 1954): 163-67.

[29] Richard G. Hewlett và Jack M. Holl, *Atoms for Peace and War, 1953- 1961* (Berkeley: University of California Press, 1989), 177.

[30] Edward B. Lewis, “Alfred Henry Sturtevant,” *Biographical Memoirs of the National Academy of Sciences*, vol. 73 (Washington, DC: National Academies Press, 1998).

[31] A. H. Sturtevant, “Social Implications of the Genetics of Man,” *Science* 120, no. 3115 (ngày 10 tháng 9 năm 1954): 407.

[32] Elof Axel Carlson, *Genes, Radiation, and Society: The Life and Work of H. J. Muller*. (Ithaca, NY: Cornell University Press, 1981), 237-40.

[33] Guido Pontecorvo, “Hermann Joseph Muller, 1890-1967,” *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 14 (tháng 11 năm 1968): 356.

[34] Carlson, *Genes, Radiation, and Society*, 399.

[35] Hermann J. Muller, “The Production of Mutations,” Nobel Lecture (1946). *Nobelprize.org*.

[36] Ibid.

[37] Ernest Caspari và Curt Stern, “The Influence of Chronic Irradiation with Gamma-Rays at Low Dosages on the Mutation Rate in *Drosophila Melanogaster*,” *Genetics* 33, no. 1 (1948): 81.

[38] Edward J. Calabrese, “On the Origin of the Linear No-Threshold (LNT) Dogma by Means of Untruths, Artful Dodges and Blind Faith,” *Environmental Research* 142 (2015).

[39] Ibid., 435, bảng 1.

[40] Ibid., 435.

[41] Ibid., 432 (tiêu đề).

[42] Jerry M. Cutler, “Remedy for Radiation Fear: Discard the Politicized Science,” *Dose Response* 12, no. 2 (2014): 171.

[43] Jan Beyea, “Response to ‘On the Origins of the Linear NoThreshold (LNT) Dogma by Means of Untruths, Artful Dodges and Blind Faith,’” *Environmental Research* 148 (2016): 531.

[44] Muller (1950), 57.

[45] Pushker A. Kharecha và James E. Hansen, “Prevented Mortality and Greenhouse Gas Emissions from Historical and Projected Nuclear Power,” *Environmental Science and Technology* 47 (2013): 4889 (tóm tắt).

CHƯƠNG HAI MƯƠI

[1] James Blythe: *Oxford DNB*.

[2] “History,” Jacobs Wind Electric Company online, www.jacobswind.net; Paul Jacobs, trao đổi cá nhân. Paul Jacobs ân cần sửa lại văn bản của tôi.

[3] Morton B. Prince, “Early Work on Photovoltaic Devices at the Bell Telephone Laboratories,” ch. 33 trong Wolfgang Paiz, *Power for the World: The Emergence of Electricity from the Sun* (Singapore: Pan Stanford, 2011), 497-98; D. M. Chapin, C. S. Fuller, và G. L. Pearson, “A New Silicon TWJunction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power,” *Journal of Applied Physics* 25 (1954): 676-77.

[4] Prince, “Early Work on Photovoltaic Devices,” 498.

[5] “Vanguard I,” NASA Science Data Coordinated Archive online; “Vanguard Project,” US Naval Research Laboratory online; Constance McLaughlin Green và Milton Lomask, *Vanguard, A History*, ch. 7 (Washington, DC: National Aeronautics and Space Administration, 1970) (online).

[6] Peter E. Varadi, “Terrestrial Photovoltaic Industry-The Beginning,” in *Power for the World*, ed. Wolfgang Paiz (Singapore: Pan Stanford Publishing, 2011), 558.

[7] Adam Vaughan, “Solar Power Growth Leaps by 50% Worldwide Thanks to US and China,” *Guardian*, ngày 20 tháng 3 năm 2017 (online); màng polymer mỏng: Frederik C. Krebs, “Fabrication and Processing of Polymer Solar Cells: A Review of Printing and Coating Techniques,” *Solar Energy Materials & Solar Cells* 93 (2009): 394-412.

[8] “US Capacity Factors by Fuel Type, 2016,” Nuclear Energy Institute Knowledge Center, Nuclear Statistics (online).

[9] *Climate Change 2014 Synthesis Report*, Intergovernmental Panel on Climate Change (online), 2014, khung 3.2, bảng 1, 87.

[10] Vasilis M. Fthenakis và Hyung Chui Kim, “Greenhouse-Gas Emissions from Solar Electric- and Nuclear Power: A Life-Cycle Study,” *Energy Policy* 35 (2007): 2549. “Phát thải GHG trọn đời từ các chu trình nhiên liệu hạt nhân và năng lượng mặt trời ở Mỹ là có thể so sánh được bằng đi đầu kiện sản xuất thực tế và bức xạ mặt trời trung bình.”

[11] Eli Goldstein, “CO2 Emissions from Nuclear Plants” (PH241, Introduction to Nuclear Energy, Stanford University, Winter 2012) (online).

[12] Zhores Medvedev, *The Legacy of Chernobyl* (New York: W. W. Norton, 1990), 5.

[13] Phơi nhiễm phóng xạ Fukushima (cập nhật tháng 2 năm 2016), World Nuclear Association Information Library (online).

[14] Samuel J. Walker, *Three Mile Island: A Nuclear Crisis in Historical Perspective* (Berkeley: University of California Press, 2004), 204-8.

[15] “Fukushima Accident,” World Nuclear Association Information Library (online).

[16] Anil Markandya và Paul Wilkinson, “Electricity Generation and Health,” *Lancet* 370 (2007): 982.

[17] Cesare Marchetti, “My cv as a Personal Story,” Cesare Marchetti Web Archive online, 2003, 4-5.

[18] Cesare Marchetti và N. Nakicenovic, “The Dynamics of Energy Systems and the Logistic Substitution Model,” pt. 1, pt. 2, RR-79-13, IIASA, 1979, 1 (online). Nguyên văn in nghiêng.

[19] Luis de Sousa, “Marchettis Curves,” *The Oil Drum:Europe*, 2007 (online).

[20] W. Brian Arthur, *The Nature of Technology: What It Is and How It Evolves* (New York: Free Press, 2009), 131.

[21] Văn bản này và văn bản sau đây từ de Sousa, “Marchetti’s Curves.”

[22] “Asia’s Nuclear Energy Growth,” World Nuclear Association Information Library online.

[23] Elaine Scarry, *The Body in Pain: The Making and Unmaking of the World* (New York: Oxford University Press, 1985), 288-89.

[24] Kevin M. White và Samuel H. Preston, “How Many Americans Are Alive Because of Twentieth-Century Improvements in Mortality?” *Population and Development Review* 22, no. 3 (1996): 415-29.

Table of Contents

Start

LỜI TỰA

PHẦN MỘT NĂNG LƯỢNG

01 KHÔNG CÓ GỖ, KHÔNG CÓ VƯƠNG QUỐC

02 DÂNG NƯỚC BẰNG LỬA

03 NGƯỜI KHÔNG LỖ MANG TƯ TƯỞNG

04 SẢN XUẤT CHO CẢ THẾ GIỚI

05 AI BẮT ĐƯỢC TÔI NÀO

06 VẪN CHƯA THỂ CHẾ NGỰ HƠI NƯỚC!

PHẦN HAI ÁNH SÁNG

07 TỬ ĐÈN BẮC TỚI ĐÈN KHÍ

08 TRUY ĐUỔI THỦY QUÁI

09 CHẤT ĐỐT LỎNG

10 THÚ HOANG

11 SỨC MẠNH CỦA TỰ NHIÊN

12 NHỊP ĐỘ CỦA NƯỚC

13 MIẾNG PHO-MÁT VĨ ĐẠI MÀU VÀNG

14 CÁC CỘT KHÓI ĐEN

PHẦN BA NHỮNG NGỌN LỬA MỚI

15 QUÀ TẶNG CỦA CHÚA

16 THỢ HÀN MỘT TAY

17 HẾT CÔNG SUẤT VÀO NĂM 1957

18 TÁC ĐỘNG CỦA SƯƠNG KHÓI

19 KỶ NGUYÊN ĐEN TỚI PHÍA TRƯỚC

20 CÙNG HỘI CÙNG THUYỀN

LỜI CẢM ƠN